

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

OPTİMAL BİREYSEL DROP JUMP YÜKSEKLİĞİNİN
BELİRLENMESİNDE KAS-TENDON ÖZELLİKLERİNİN
ETKİSİ

Mustafa ADA

YÜKSEK LİSANS

2023-ANTALYA

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

OPTİMAL BİREYSEL DROP JUMP YÜKSEKLİĞİNİN
BELİRLENMESİNDE KAS-TENDON ÖZELLİKLERİNİN
ETKİSİ

Mustafa ADA

YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
Doç. Dr. Emel ÇETİN ÖZDOĞAN

“Kaynakça gösterilerek tezimden yararlanılabilir”

2023-ANTALYA

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu alışma jürimiz tarafından Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı Hareket ve Antrenman Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. .../...../.....

İmza

Tez Danışmanı :
(Ünvanı, Adı Soyadı)
(Üniversite)

Üye :
(Ünvanı, Adı Soyadı)
(Üniversite)

Üye :
(Ünvanı, Adı Soyadı)
(Üniversite)

Üye :
(Ünvanı, Adı Soyadı)
(Üniversite)

Üye :
(Ünvanı, Adı Soyadı)
(Üniversite)

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

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

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

Öğrencinin
Mustafa ADA

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Emel ÇETİN ÖZDİĞAN

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana akademik duruşuyla her anlamda destek veren, tecrübesiyle ve bilgisi ile yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Emel Çetin ÖZDOĞAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca aldığım her kararda arkamda duran ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın tüm süreçlerine katılarak bu çalışmanın gerçekleşmesine yardımcı olan gönüllü katılımcılara teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim süresince beni "2210/A Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı" ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Mustafa ADA

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, bireysel optimal drop jump(DJ) düşme yüksekliğini belirleyerek kas-tendon özellikleri ile olan ilişkisini belirlemektir.

Yöntem: Çalışmaya Konyaaltı Belediyesi Spor Kulübü Kadın Hentbol Takımı sporcularından 17-26 yaş arasında, süperlig seviyesinde oynayan 13 sporcu katılmıştır. Katılımcılar farklı günlerde farklı düşme yükseklikten (30-35-40-45-50-55-60 cm) DJ performansları sergilemeleri istenmiştir. Her katılımcı iki kez deneme yapmış yer temas süresi ≤ 250 ms olan atlayışlar değerlendirmeye alınmıştır. Her bir performans lateral yöne yerleştirilmiş bir kamera ile kayıt altına alınmış ve sıçrama evreleri kinematik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Aşil tendon moment kolu uzunlukları da dominant ayaktan ayaktan alınan fotoğrafın analizi yardımıyla belirlenmiştir.

Bulgular: DJ₄₀'dan gerçekleştirilen performansların sıçrama yüksekliği($h_{\text{sıçrama}}$) ve reaktif kuvvet indeksi (RSI) değerlerinin diğer yüksekliklerden daha anlamlı derecede büyük sonuç verdiği, DJ₆₀ ve DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen performansların yer temas süresi (t_{temas}) değerlerinin diğer yüksekliklerden daha anlamlı derecede küçük sonuç verdiği gözlemlenmiştir. DJ₄₀'den elde edilen kalça açısı ($\theta_{\text{kalça}}$) değeri DJ₃₀'den elde edilen $\theta_{\text{kalça}}$ değerine göre anlamlı düzeyde yüksektir ($p<0.05$). Ön ayak uzunluğu ($L_{\text{önayak}}$) değişkeni DJ₄₀ ($p<0.05$) ile negatif korelasyonu bulunmuştur. Aşil tendon moment kolu ($L_{\text{aşil}}$) değişkeni $\theta_{\text{diz}(35)}$, $\theta_{\text{diz}(40)}$ ve $t_{\text{temas}(50)}$ ile pozitif korelasyonu belirlenmiştir.

Sonuç: Sporcuların optimal drop jump düşme yüksekliklerinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada, DJ₄₀ düşme yüksekliğinden yapılan sıçramalar $h_{\text{sıçrama}}$, t_{temas} , RSI parametrelerinde diğer yüksekliklerden daha anlamlı derecede iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. DJ₄₀ düşme yüksekliğinden maksimum verimin alındığı ve minimum yaralanma riskini taşıdığı gözlemlenmiştir. Katılımcıların optimal DJ düşme yüksekliği değerinin 35 cm ve 40 cm arasında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: drop jump, sıçrama yüksekliği, yerde kalma süresi, aşil tendon.

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to determine the individual optimal drop jump (DJ) fall height and its relationship with muscle-tendon properties.

Method: 13 athletes from Konyaaltı Municipality Sports Club Women's Handball Team, between the ages of 17-26, playing at the super league level, participated in the study. Participants were asked to perform DJ performances from different fall heights (30-35-40-45-50-55-60 cm) on different days. Jumps with a ground contact time of ≤ 250 ms were taken into consideration, with each participant trying twice. Each performance was recorded with a camera placed in the lateral direction and the jump phases were analyzed by kinematic analysis method. Achilles tendon moment arm lengths were also determined with the help of the analysis of the photograph taken from the dominant foot.

Results: It has been observed that the jump height (h_{jump}) and reactive force index (RSI) values of the performances performed by DJ₄₀ give significantly larger results than other heights, and the ground contact time (t_{contact}) values of the performances performed by DJ₆₀ and DJ₄₀ give significantly smaller results than other heights. Hip angle (θ_{hip}) value obtained from DJ₄₀ was significantly higher than θ_{hip} value obtained from DJ₃₀ ($p < 0.05$). The forefoot length (L_{forefoot}) variable was negatively correlated with DJ₄₀ ($p < 0.05$). A positive correlation was determined with the Achilles tendon moment arm (L_{achilles}) variable $\theta_{\text{knee}(35)}$, $\theta_{\text{knee}(40)}$ and $t_{\text{contact}(50)}$

Conclusion: In this study, which aimed to determine the optimal drop jump heights of athletes, it was observed that jumps made from DJ₄₀ drop height gave significantly better results in terms of h_{jump} , t_{contact} , RSI parameters than other heights. It has been observed that maximum efficiency is obtained from the DJ₄₀ drop height and it carries the minimum risk of injury. It was determined that the optimal DJ drop height value of the participants was between 35 cm and 40 cm.

Key words: drop jump, jump height, contact time, Achilles tendon.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Kuvvet	2
2.2. Pliometrik Antrenman	2
2.2.2. Pliometrik Antrenman Çeşitleri	4
2.3. Drop Jump (DJ)	5
2.4. Uzama-Kısalma Döngüsü (Stretch-Shortening Cycle, SSC)	7
2.5. Reaktif Kuvvet ve Reaktif Kuvvet İndeksi (RSI)	9
2.6. Kas-tendon ve Pliometrik Antrenman	10
3. GEREÇ ve YÖNTEM	12
3.1. Araştırma Grubu	12
3.2. Uygulanan Testler	12
3.2.1. Antropometrik Ölçümler.....	12
3.2.2. Drop jump performans ölçümü.....	13
3.3. İstatistiksel Analiz	14
4. BULGULAR	15
4.1. Araştırmaya Katılan Sporcuların Fiziksel Özellikleri	15
4.2. Ön Ayak Uzunluğu ve Aşil Tendon Moment Kolu	15
4.3. Araştırmaya Katılan Sporcuların DJ Performansları	16
4.4. DJ Performanslarının İstatistiksel Analiz Sonuçları	20
5. TARTIŞMA	27

6. SONUÇ ve ÖNERİLER	29
6.1.Sonuçlar	29
6.2. Öneriler	30
KAYNAKLAR	31



TABLÖLAR DİZİNİ

- Tablo 4.1.** Katılımcıların fiziksel özellikleri
- Tablo 4.2.** Ayak parametreleri tablosu
- Tablo 4.3.** DJ verileri tablosu
- Tablo 4.4.** DJ sonrası yer ile tam temas anında alt ekstremite açılal değeri
- Tablo 4.5.** DJ sonrası yer ile tam temas anında alt ekstremite açılal değeri nin istatistiksel analizi
- Tablo 4.6.** Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen $\theta_{kalça}$ değeri nin ikili karşılaştırılması
- Tablo 4.7.** Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen θ_{diz} değeri nin ikili karşılaştırılması
- Tablo 4.8.** Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen θ_{ayakb} değeri nin ikili karşılaştırılması
- Tablo 4.9.** Veriler arasındaki korelasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1.** DJ sıçraması gösterimi
- Şekil 2.2.** SSC aşamalarının temsili gösterimi
- Şekil 2.3.** RSI'yi hesaplamak için formül gösterimi
- Şekil 3.1.** Aşıl tendon moment kolunun belirlenmesi
- Şekil 4.1.** Farklı DJ düşme yüksekliklerinden elde edilen $h_{sıçrama}$ değerleri
- Şekil 4.2.** DJ performansları sonucu RSI belirlenmesi
- Şekil 4.3.** Farklı DJ düşme yüksekliklerinde t_{temas} değerleri
- Şekil 4.4.** DJ sonrası yer ile tam temas anında $\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} değerleri
- Şekil 4.5.** DJ sonrası yer ile tam temas anında $\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} değerlerinin temsili gösterimi

SİMGELER ve KISALTMALAR

DJ : Drop Jump

CMJ : Aktif Sıçrama

MVJH : Maksimum Dikey Sıçrama Yüksekliği

SSC : Uzama-Kısalma Döngüsü

RSI : Reaktif Kuvvet İndeksi

VDJ : Dikey Drop Jump

HDJ : Yatay Drop Jump

$h_{\text{sıçrama}}$: Sıçrama Yüksekliği

MM : Kas Kütlesi

BMR : Bazal Metabolizma Hızı

FFM : Yağsız Kütle

$t_{\text{uçuş}}$: Havada Kalma Süresi

t_{temas}	: Yerle Temas Süresi
CMJH	: Aktif Sıçrama Yüksekliği
L_{önayak}	: Ön Ayak Uzunluğu
L_{aşil}	: Aşil Tendon Moment Kolu Uzunluğu
$\theta_{kalça}(\text{°})$: Kalça Fleksiyon Açısı
$\theta_{diz}(\text{°})$: Diz Fleksiyon Açısı
$\theta_{ayakb}(\text{°})$: Ayak Bileği Fleksiyon Açısı

1. GİRİŞ

Bireysel gelişim ve performans artışı hedeflerimizde sürat, güç, patlayıcı kuvvet vb. parametreler oldukça önemlidir. Patlayıcı kuvvet karate, taekwondo gibi bireysel branşların yanı sıra basketbol ve hentbol gibi takım sporlarında da önemli bir etkiye sahiptir. Patlayıcı kuvvet özelliği geliştirmek için pliometrik antrenmanlar etkilidir ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Drop Jump (DJ) en çok kullanılan pliometrik antrenman prensiplerinden bir tanesidir. Kuvvet, patlayıcı güç, Reaktif Kuvvet İndeksi (RSI) ve Uzama-Kısalma Döngüsü (SSC) ilişkilerini geliştirmektedir. DJ dikey düzlemde yapılan bir sıçrama türüdür. Bir yükseklikten aşağıya bir derinlik kazanılır minimum yerle temas süresi (t_{temas}) ve maksimum sıçrama yüksekliği ($h_{\text{sıçrama}}$) kazanma çabası ile gerçekleştirilir. Yere doğru yapılan DJ ile yerle temas sonrasında kaslarda ve tendonlarda şok biçiminde bir gerilme elde edilir ve bu sayede kaslardaki kinetik enerjiden faydalanılır (Özdoğan ve ark, 2018).

Yapılan çalışmalara bakıldığında zaman DJ yükseklikleri değişkenlikler göstermekte net olarak en iyi performansı hedef alan bir yükseklik belirlenmemektedir ancak yükseklikler farklılık gösterse de t_{temas} , DJ performansının kabul edilebilir olması için önemlidir. DJ çalışmalarında t_{temas} maksimum 250' ms olarak kabul edilmektedir (Prieske ve Ark, 2018). 250' ms sınırını aşmayan yüksekliklerden DJ çalışmaları yapılabileceğini buradan anlıyoruz fakat optimal performans için bireysel özellikler devreye girmekte ve her insanın minimum yerle temas süresinde maksimum yüksekliğe ulaşması farklı DJ yüksekliğinden yapacağı sıçrama ile meydana gelebileceğini düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı bireysel DJ düşme yüksekliğinin belirlenmesi, sporcu için önemli olan sıçrama yüksekliği ve RSI ile bağlantılı olarak kas-tendon özellikleri ile ilgili daha net bilgiler elde etmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kuvvet

Kuvvet içsel ve dışsal dirençlere karşı koymak ve bu dirençlerin karşısında baskın gelmeyi sağlayan kaslar ve sinirlerin yeteneğidir (Bompa, 2003). Bir işi yapmayı sağlayan temel unsur kuvvettir. Kuvvet ortaya çıkış şekline göre kendi içerisinde sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıfların genel kuvvet, özel kuvvet, maksimum kuvvet, çabuk kuvvet, kuvvette devamlılık, statik kuvvet, dinamik kuvvet vb. şekillerde tanımları mevcuttur (Özer, 1989).

Bir branşa özgü olmayan tüm iskelet kaslarının ürettiği ve geliştirdiği kuvvete genel kuvvet denir. Tüm kuvvet programlarının ilk basamağı olan genel kuvvet temel başlangıç isteyen dönemlerde planlanmalıdır (Sönmez, 2014). Bir branşın genel özelliklerini hedef alan kuvvet özel kuvvettir (Sönmez, 2014). Özel kuvvet, genel kuvvetle iç içedir. Özel kuvvet planlaması yapılmadan önce genel kuvvet temelini atıldığından emin olunmalıdır. Temel oluştuktan sonra genel kuvvet ile birliktelik korunarak spesifik olarak sporun gereksinimlerine göre özel kuvvet programı hazırlanmalıdır. Bunlar dışında kas sisteminin istenilerek geliştirilebildiği ve kasların kasılması ile elde edilen en büyük kuvvete maksimal kuvvet denir (Kankal, 2008), Dirençleri yenebilecek kas kasılmasına minimum sürede ulaşılan kuvvete çabuk kuvvet denir (Kankal, 2008). Birçok branş için önemli olan çabuk kuvvet kendi içerisinde sprint kuvveti, patlayıcı kuvvet, atma, itme, çekme, vurma ve tepki kuvveti gibi sınıflara ayrılmıştır (Dündar, 1996). Bir süre devam eden kuvvet çalışmalarına karşı kaslarımızın yorgunluğa dayanabilme yeteneğine kuvvette devamlılık denir. Kuvvette devamlılık piramit yöntemi ve istasyon yöntemli çalışmalar ile geliştirilebilmektedir (Karabıyık, 2018). Bir kas kasılması sırasında kas uzunluğunun değişmediği, kuvvet uygulanan nesnenin durumunun korunmaya çalışıldığı dirence karşı konulan kuvvete statik kuvvet denir (Kankal, 2008), Kas boyunun kısaldığı kuvvete dinamik denir (Kankal, 2008).

2.2. Pliometrik Antrenman

Pliometrik egzersizler klasik olarak sporcuların antrenman programlarında patlayıcı gücü artırmanın bir yolu olarak kullanılır. Bu egzersizlerin eksantrik evrede kas tendon

yüklemesini artırarak veya eksantrik ve konsantrik evreler arasındaki geçiş süresini kısaltarak uzama kısalma döngüsünün etkinliğini artırdığı düşünülmektedir (Laurent, 2020).

Pliometrik antrenmanlar aşamalı olarak planlanmalı ve ilerlemelidir. Önce daha kolay seviyede olan sıçrama çalışmaları yapılmalı daha sonra adaptasyon ve gelişim görüldükçe daha uzak mesafeli sıçrama çalışmaları yapılmalı, kişi yeterli seviyeye gelmiş ise derinlik sıçraması çalışmaları planlanmalıdır. Pliometrik antrenmanların antrenman planlaması ısınma evresinin ardından yapılmalıdır. Pliometrik çalışma günleri arasında uygun dinlenme saati verilmeli çalışmanın yapıldığı alan ortam ve ekipmanlara önem verilmeli özen gösterilmelidir. Örneğin çalışma ayakkabı ile yapıyor ise ayakkabı tabanı stabilizasyona sahip olmalı, zemin kaymamalı çok yumuşak ya da çok sert olmamalıdır. Hareketlerin prosedürlerine uyulmalıdır. Hareketler ağırlıksız yapıyorsa çalışma prensibine bağlı olarak eller sabit ya da hareketli olabilmektedir. Ağırlık araçları ile yapılırken yaralanmalara karşı dikkatli olunmalıdır (Özdoğan ve ark, 2018).

Pliometrik egzersizlerde kas eksantrik hareketle ve hemen peşinden takip eden konsantrik hareketle yüklenir. Konsantrik kasılmanın öncesinde gerilmiş olan bir kas daha kuvvetli ve hızlı kasılacaktır (Çoban, 2019). Sıçrama ve sprint hareketleri, alt ekstremitelerde kas-tendon kompleksinin uzama ve kısalma eylemlerinin tekrarlandığı uzama-kısalma döngülerini (SSC) etkiler. SSC egzersizleri sırasında elastik enerji, uzama fazında tendon yapılarında depolanır ve kısalma fazında tekrar kullanılır (Kubo, 2007).

Pliometrik antrenmanın sıçrama, sprint yeteneklerini ve diğer hızlı yer değiştirme hareketlerini geliştirdiği bilinmektedir. Pliometrik antrenmandan sonra sıçrama performansındaki artışın, nöromüsküler adaptasyonlara, yani motor ünite işe alım modeline, agonistlerin ve antagonistlerin kas aktivitelerine bağlanmıştır. Pliometrik antrenmanın alt ekstremitelerde fonksiyonel eklem stabilitesini artırarak yaralanma riskini azaltabileceğini düşünülmektedir (Kubo, 2007).

Lacono ve ark. (2016), tarafından yapılan çalışmada katılımcılardan 10 dakikalık standart bir ısınma (4 dakikalık koşu, 4 dakikalık dinamik germe egzersizleri, 20 metrelik 2 sprint ve sıçrama egzersizleri) uygulamaları istenmiş, aktif bir dinlenmeden sonra (2 dakikalık

yürüme), 3 aktif sıçrama (CMJ) veya 3 tekrarlı sprintinden oluşan bir çalışmanın ardından 25 cm yükseklikten tekrarlar arası 10 sn setler arası 120 sn dinlenme olacak şekilde 5-8 set 6-10 tekrar DJ performansı gerçekleştirmeleri istenmiştir. 18 erkek ile yapılan çalışmada dikey drop jump (HDJ)'nin, yatay drop jump (VDJ)'a kıyasla sprint süresinde ve performansında daha fazla iyileşmeye yol açtığı, VDJ, HDJ'ye göre daha fazla dikey sıçramada iyileşme oluşturduğu görülmüştür. Bu araştırma, belirli pliometrik çalışmaların, sıçrama, sprint ve yön değiştirme gibi benzer biyomekanik özellikli fonksiyonel performansları optimize etmede oynadığı rolü göstermiştir (Lacono ve ark, 2016).

Pliometrik antrenmanlarda plastik huniler, kasalar, engeller, bariyerler, merdivenler, sağlık topları, dambıllar ve ağırlık yelekleri gibi malzemeler kullanılmaktadır.

2.2.2. Pliometrik Antrenman Çeşitleri

Yatay Sıçramalar, bedeni önden arka tarafa dik kesen düzlemle yapılan sıçramalardır. En büyük özelliği ise uzunlamasına mesafe kat eden sıçramalardır (Bompa 2001). Dikey Sıçramalar, dikey düzlemde yapılan sıçramalardır. Ana hedef yerden yükseklik kazanmaktır. Uygulama yukarı doğrudur. Engel çubukları ya da kasalar üzerinde yapılan sıçramalar örnek olarak gösterilir (Bompa 2001). Derinlik Sıçramaları, dikey düzlemde yapılan çalışmalara denir. Özelliği önce derinlik sonra yükseklik kazanmasıdır. Örneğin; 60-80 cm. yüksekliğinde bir kasadan yere atlayıp aynı yükseklikte başka bir kasaya sıçraması derinlik sıçramasıdır (Bompa 2001).

Dikey sıçramalar ve derinlik sıçramaları, dikey düzlemde yapılan çalışma türüdür. Fakat derinlik kazandıktan sonra belli bir yükseklik kazanma ve bunun ardından başka bir kasaya sıçrama ve yine belli bir yüksekliğe çıkma şeklindeki çalışmalardır. Örneğin; 80 cm kasadan yere atlayıp 1m yüksekliğindeki engeli geçip, 45 cm yüksekliğindeki kasaya zıplayıp yere düşerek tekrar bir engeli geçme şeklinde devam eden çalışmalardır. Başarılı olmak için hem dikey hem de yatay sıçramalar birlikte kullanılmalıdır. Yapılan sıçrama çalışmaları sonunda, bacağın yeri itişinin, dizlerin dikey yer değiştirmesinin ve kol hareketlerinin iyileştiği söylenebilir (Bompa 2001).

Campillo ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada sporcular DJ₂₀ ve DJ₄₀, CMJ, 20 m sprint testi ve yön değiştirme (COD) testi, maksimum vuruş mesafesi (MKD) testi ve 2400 m zamana karşı deneme (TT) testlerini gerçekleştirmişler. 39 ergen erkek ile yapılan çalışmada çeşitli fiziksel özelliklere göre CMJ, COD, 5RM, 2400-m TT ve MKD’inde incelenmesi ile DJ₄₀ performansı DJ₂₀ ile karşılaştırıldığında daha büyük aktarım etkisi katsayısı (TEC) olduğunu belirlenmiştir (Campillo ve ark, 2019).

2.3. Drop Jump (DJ)

Dikey sıçrama yüksekliğini artırmak için kullanılan pliometrik egzersize DJ denir. Yükseltilmiş bir yüzeyden derinlik sıçraması yaptıktan hemen sonra gerçekleştirilen dikey bir sıçramayı içerir. Birkaç haftalık pliometrik antrenman, DJ gerçekleştirerek test edildiğinde dikey sıçrama yüksekliğini artırabilir, bu da sprint ve atlama gibi sportif performanslarda iyileştirmeler anlamına gelir (Laurent, 2020).

Bireyin önceden belirlenmiş bir yükseklikten sıçraması ve yere temas ettikten hemen sonra dikey bir sıçrama yapmasını gerektiren DJ, SSC reaktif gücünü ve dikey sıçrama kapasitesini arttırmak için uygulanan popüler bir pliometrik egzersizdir. DJ, sıçrama yüksekliği çok düşükse, sinir-kas sistemi yeterince uyarılmakta ve çalışma etkisine alışmakta zorluk yaşanabilir. Buna karşılık, eğer sıçrama yüksekliği çok yüksekse, eksantrik ve konsantrik evreler kontrollü bir biçimde uygulanamaz, harekette istenilen performans gösterilemez, bu nedenle sinir-kas sisteminin yeterince uyarıldığı bir yükseklikten sıçrama yapılmalıdır (Çoban, 2019).

DJ performansları daha önce yapılan çalışmalarda yerle temas süresi ve RSI değerleri göze alınarak bakıldığında 30-40-50 ve 60 cm yükseklikleri diğer yüksekliklere göre daha optimal bulunmuş ve çalışmalarda genel olarak bu yükseklikler kullanılmıştır (Atan ve ark, 2011).

Literatürde DJ yükseklikleri araştırıldığı zaman farklı platform yüksekliklerinin kullanıldığı görülmüştür ama en uygun platform yüksekliği ile ilgili kesin bir bilgi yoktur. Less ve Fahmi 12, 24, 36, 46, 58 ve 68 cm yüksekliklerden DJ yaptırdıkları çalışmada 12 cm yükseklikten yapılan DJ sonucunda dikey sıçramada en yüksek güç çıktısını ve

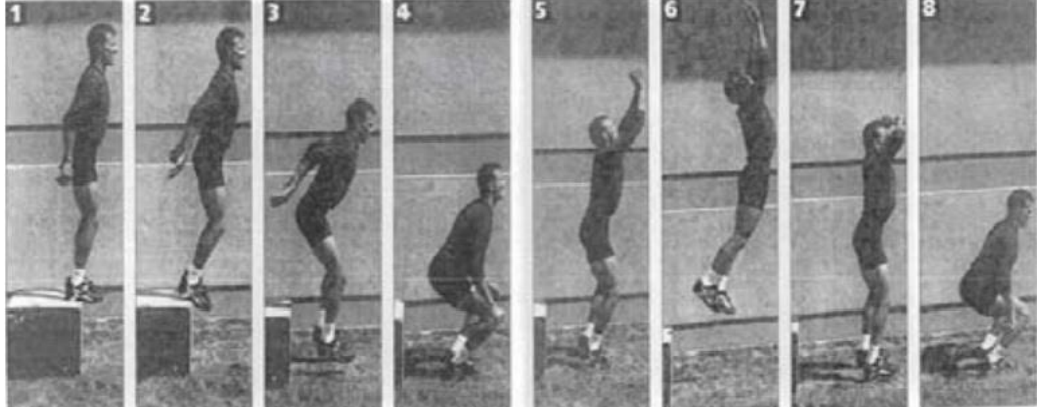
sıçrama yüksekliğini bulmuşlardır. Başka bir örnekte 20, 40 ve 60 cm yükseklikten DJ yapılmış ve sonucunda 3 yükseklik arasında sıçrama yüksekliği açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Diğer bir çalışmada 30 cm yükseklikten yapılan CMJ ve DJ larda 60 cm ve 90 cm yükseklikten daha yükseğe sıçradıkları görülmüştür (Atan ve ark, 2011).

Prieske ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada sporcularda DJ'nin sprint ve yatay sıçrama performansı ile ilişkisi incelendi. Sporculardan 20, 35 ve 50 cm yükseklikten DJ, ek olarak yatay sıçramalar ve 20 m doğrusal sprint performansları gerçekleştirmeleri istenmiştir. 119 erkek 120 kadın hentbolcu katılımcı ile gerçekleştirilen bu çalışmada cinsiyete bakılmaksızın 35 cm düşme yüksekliğinin 20 ve 50 cm düşme yüksekliklerine göre optimum DJ performansı için en uygun yükseklik olduğu bulunmuştur (Prieske ve ark, 2018).

Tomasecivz ve ark. (2020), tarafından yapılan çalışmada sporcular boylarının %50'sine kadar olan farklı düşme yüksekliklerinden 3 tane sıçrama gerçekleştirmişler. 16 erkek katılımcı ile yapılan çalışmada DJ'nin artan darbe direnci nedeniyle minimum yükseklikten yapıldığında bile bir CMJ den daha etkili bir şekilde SSC döngüsünü başlattığı gözlemlenmiştir. Düşme yüksekliği ile beraber tepki kuvvetinde arttığı ve güç üretiminin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle optimal yüksekliğin bir sporcunun antropometrik vücut boyunun yaklaşık % 21,3'ü ($\pm 10,2$) olduğu belirlenmiştir (Tomasecivz ve ark, 2020).

Peng ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada 3 CMJ yapılmış ve ortalama CMJ yüksekliği (CMJH) belirlenmiş. Her bireyin CMJH'sinin % 50, 75, 100, 125 ve 150 'sinden DJ performansı gerçekleştirilmiş. 20 erkek ile yapılan DJ performansları sonrasında % 50 ile % 100 CMJH arasındaki sıçrama yüksekliklerinin bu grup için optimal DJ yüksekliği olduğu belirlenmiştir (Peng ve ark, 2019).

Peng ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada maksimum dikey sıçrama yüksekliği (MVJH) kuvvet platformu ile belirlenmiş. 15 erkek katılımcı ile yapılan çalışmada katılımcılar rastgele sırayla % 50, 75, 100, 125 ve 150 MVJH'den DJ 'ler gerçekleştirmişler. Minimum düşme yüksekliği 21.1 cm (% 50 MVJH) iken maksimum düşme yüksekliği 63.2 cm (% 150 MVJH) olarak belirlenmiştir (Peng ve ark, 2017).



Şekil 2.1. DJ sıçraması gösterimi

Pliometrik antrenman çeşitlerinden birisi olan depth jump (derinlik sıçraması) ise, DJ ile karıştırılsa da yerle temas süresini gözetmeksizin sıçrama yüksekliği sonucuna odaklıdır (Verkhoshansky, 2011).

DJ ve depth jump uygulamalarına bakıldığı zaman sıçrama yükseklikleri ve yapılaş tarzları benzetilmektedir. Fakat uygulama amaçları, uygulama şekilleri, verdikleri sonuçlar ve uygulama yükseklikleri yapılan çalışmalara göre farklıdır. Depth jump konsantrik evrede maksimum ve patlayıcı gücü artırmaya odaklı iken DJ eksantrik evreden konsantrik evreye geçerken oluşan elastik enerjinin depolanarak diz ekstensörleri ve plantar fleksörlerinin mekanik çıktılarını maksimize etmesini amaçlar. Depth jump maksimum dikey sıçramaya odaklı iken DJ minimum yerle temas süresinde maksimum yüksekliğe ulaşmayı hedefler. Depth jump uygulama yüksekliği 0,75 m'den 1 m'ye kadar, DJ uygulama yüksekliği ise 0,30 ile 0,60 m arasındadır (Verkhoshansky, 2011).

2.4. Uzama-Kısalma Döngüsü (Stretch-Shortening Cycle, SSC)

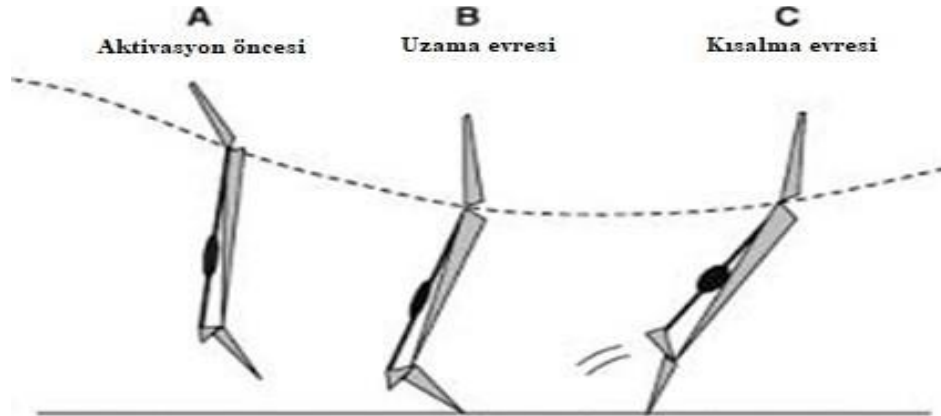
SSC birçok spor aktivitesinde rolü olduğu düşünülmektedir. Çoğu pliometrik sıçrama egzersizleri performansı artırmak için SSC mekanizmalarını kullanılır. Pliometrik antrenmanların SSC'yi antrene etmek için önemli bir strateji olduğuna inanılmaktadır (Ebben ve ark, 2010). SSC, sıçrama veya koşma gibi insan hareketlerindeki verimliliği açıklamada anahtar faktördür. Kuvvet üretimindeki rolü ve etkinliği kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. SSC, alt ekstremitelerin eksantrik ve konsantrik kas kasılmalarının aralarında gecikme olmaksızın art arda ve hızlı bir kombinasyonu olarak tanımlanır.

SSC'ye bağlı olarak kuvvet artışı, elastik enerjinin depolanması ve SSC'nin elastik enerjiyi geri kazanım ile açıklanır (Laffaye, 2016).

SSC'de, patlayıcı bir şekilde kasılmadan önce bir kas direkt olarak gerilir. Bunun kasın daha yüksek kuvvet ve güç çıktısı üretmesine izin verdiği bilinmektedir. SSC dürtüsü iki fenomeninden faydalanır: kas-tendon davranışı ve sinir sistemine kuvvet ve gerilme refleksi geri bildirimini. Akut olarak, SSC dürtüsü, mekanik verimliliği ve elastik enerjiyi geri kazanım yoluyla dürtü oluşturmak ister, kronik olarak ise, kas sertliğini ve sinir-kas aktivasyonu arttırlar (Çoban, 2019).

SSC'nin hareketi bir yay olarak görülebilir, eksantrik faz sırasında aktif kaslar (ve aktif olmayan kaslar) gerilir ve enerjiyi absorbe ederler. Bu enerjinin bir kısmı geçici olarak depolanır ve daha sonra SSC'nin konsantrik aşamasında yeniden kullanılır. Tendonlar, fasya ve kasın kendisi gibi özelleşmiş dokularda uygulanan kuvvet miktarı (kasılma hızı) arttıkça, konsantrik fazda ifade edilen sonuçta ortaya çıkan kuvvet görünürlüğü de artar. Bununla birlikte, elastik enerjinin en iyi şekilde kullanılması için eksantrik ve konsantrik fazlar arasında hızlı bir geçiş gereklidir. Bu nedenle, hızlı bir SSC içeren bir sıçrama, genellikle bir sporcunun statik bir konumdan daha yükseğe veya daha uzağa sıçramasına izin verecektir (Nicol ve Ark, 2006).

SSC' yi geliştirmek için DJ, CMJ gibi pliometrik antrenmanların etkili olduğu bilinmektedir (Ebben ve ark, 2010). SSC fonksiyonları hızlı (<250 ms) ve yavaş (>250 ms) olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.2. SSC aşamalarının temsili gösterimi

2.5. Reaktif Kuvvet ve Reaktif Kuvvet İndeksi (RSI)

Minimum bir zaman diliminde maksimum gücü elde etme yeteneği, çoğu branşta en önemli etkindir. RSI, DJ sırasında sıçrama yüksekliğinin t_{temas} bölünmesiyle hesaplanarak kuvvetin ve onu geliştirmek için geçen zamanın bir ölçüsüdür (Ebben ve ark, 2010). RSI, bir DJ sırasında dinamik alt ekstremite performansını ölçmek için sıklıkla kullanılır. RSI, ölçülmesi ve yorumlanması da kolay olan son derece güvenilir (yani ICC > 0.90) ve basit bir performans indeksini temsil eder (Kip ve ark., 2017).

RSI, DJ gibi pliometrik egzersizler sırasında muskulotendinöz kompleks üzerindeki baskıyı izlemek için bir mekanizma olarak geliştirilmiştir. RSI, bir bireyin eksantrik bir kas kasılmasından konsantrik kas kasılmasına hızlı bir şekilde geçme yeteneğini tanımlar ve sporcuların dinamik sıçrama aktivitesinde patlayıcı kuvvetini inceler. Pliometrik egzersizlerde optimal düşme yüksekliği için öneriler sağlamak, sporcuların pliometrik yeteneklerini karşılaştırmak veya pliometrik antrenman gelişimini gözetlemek için kullanılabilir. RSI, bir DJ sırasında sıçranan yüksekliğin, bu sıçramayı yapmak için gereken yerle temas süresine bölünmesi ile bulunur (Flanagan ve ark., 2008).

RSI, güç ve kondisyon çalışmalarında, sıçrama veya SSC performansının ölçülmesi için bir araç olarak kullanılmıştır. RSI ayrıca kas-tendon ilişkisini izlemek için bir araç olarak kullanılmaktadır. RSI, bir DJ da ölçülen yükseklik sonrası ulaşılan $h_{\text{sıçrama}}$ ve t_{temas} elde edilmektedir. DJ sırasında elde edilen RSI, sıçrama yüksekliğinin yerle temas süresine bölünmesi ile elde edilmektedir (Çoban, 2019).

$$\text{Reaktif Kuvvet İndeksi} = \frac{\text{Sıçrama Yüksekliği (m)}}{\text{Yerle Temas Süresi (s)}}$$

Şekil 2.3. RSI'yi hesaplamak için formül gösterimi (Flanagan ve ark, 2008)

Teorik olarak, daha yüksek bir RSI değeri, uzama kısaltma döngüsünde hareketin daha verimli bir performansını yansıtır. RSI değeri, yapılan pliometrik antrenmanın ardından da değişebilir (Struzik ve ark., 2016).

Markwick ve ark. (2015), tarafından yapılan çalışmada DJ için katılımcılar, kol hareketini kısıtlamak için omuzlarında karbon fiber bir bar ile hareketi gerçekleştirdiler. Katılımcılar 20, 30, 40 ve 50 cm düme yüksekliklerinden rastgele sıçrama matına sıçrama denemelerini gerçekleştirdiler. CMJ için 1 dk lik dinlenme süresi ile beraber 3 CMJ denemesini kuvvet plakası üzerinde gerçekleştirdiler. 13 erkek katılımcı ile yapılan çalışmada 20-30-40 ve 50 cm DJ yüksekliklerinden hesaplanan RSI değerlendirmesi sonucunda 30 cm düşme yüksekliği için güvenilirlik düzeyi 0.73, diğer yükseklikler için ise 0.90 bulunmuştur (Markwick ve ark., 2015).

Costley ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada 5 farklı düşme yüksekliğinden (30 cm, 45 cm, 60 cm, 76 cm ve 91 cm) DJ gerçekleştirmişler. 13 erkek ve 7 kadın katılımcı ile yapılan çalışmada, RSI'de 30 ila 60 cm arasındaki yüksekliklerde artan parabolik bir eğri belirlemişler. 60 cm'nin üzerindeki DJ yükseklikleri, t_{emas} da ki artış nedeniyle RSI'yi düşürdüğü ve bu nedenle, antrenörlerin RSI'yi maksimize etmek için minimum t_{emas} vurgulaması ve 60 cm'den daha büyük olmayan DJ yükseklikleri kullanmasını önermişler (Costley ve ark, 2018).

2.6. Kas-tendon ve Pliometrik Antrenman

Genellikle tendon kesit alanı, tendon uzunluğu veya tendon kalınlığı olarak tanımlanan tendon yapısı, kası kemiğe tutma işlevi görür. Tendonlar, kas liflerine ve kemiğin bileşenlerine sıkıca bağlı olan kasın her iki ucunda bulunur. Tendonların temel işlevi, kas kasılmasının mekanik kuvvetini depolamak ve kemiklere iletmektir. Antrenman tipine adaptasyonun bir sonucu olarak yüksek tendon kesit alanı değerleri, bireyin daha fazla mekanik strese dayanmasına izin vermeli ve yaralanma riskini azaltmalıdır. Tendonların mekanik özellikleri dinamik performansla ilişkilendirilmiştir, bu da yüksek sertlik değerlerinin hem hızlı SSC aktiviteleri hem de yüksek hareket hızı içeren eylemler için faydalı olduğunu göstermektedir (Ramirez-dela Cruz ve ark., 2022).

Sıçrama ve sprint yeteneğinin geliştirmek için kullandığımız pliometrik antrenmanlarda kas aktivasyon stratejilerindeki değişikliklerin yanı sıra, kas-tendon mekanik özellikleri önemlidir (Foure ve ark, 2011). Kas-tendon mekanik özellikleri tendonların mekanik özelliklerinin, çeşitli egzersizler sırasında hem kas gücü üretimi hem de verimlilik için önemli olduğunu göstermiştir ancak bugüne kadar, pliometrik antrenmanın tendon sertliği üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır ve bir fikir birliğine varılamamıştır. Ayrıca, tendon histerezi uzama-kısalma döngüsü egzersizleri sırasında depolanmış elastik enerjinin yeniden kullanımını etkilemesine rağmen, birkaç çalışma tendon histerezisinde pliometrik antrenmanın neden olduğu değişiklikleri göstermiştir (Kubo ve ark., 2021).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1.Araştırma Grubu

Araştırmaya Konyaaltı Belediyesi Spor Kulübü Süper Lig Kadın Hentbol Takımı sporcularından, antrenman yaşı minimum 3 yıl olan 13 sporcu (yaş: 21.53 ± 4.46 yıl; boy: 1.72 ± 0.06 m; ağırlık: 67.26 ± 8.33 kg; bacak boyu: 94.34 ± 4.35 cm; kalf çevresi: 35.84 ± 1.23 cm) gönüllü olarak katılmıştır.

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu 23.06.2021 tarihinde (Karar No: KAEK-439) onaylanmış ve Helsinki Bildirgesine uygun olarak yürütülmüştür.

3.2.Uygulanan Testler

Testlerde ilk olarak vücut kompozisyon analizleri, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, toplam bacak uzunluğu, kalf kası çevresi ölçümü ve dominant bacaklarından aşıl tendon moment kolu ölçümlerini gerçekleştirildi. DJ ölçümleri için belirlenen 7 farklı yükseklikten yapılan sıçrama performanslarını (30, 35, 40, 45, 50, 55 ve 60 cm) Opto jump cihazı ve Sony kamera ile kayıt altına alındı. Sporcular her DJ platformundan 3'er tane DJ performansı gerçekleştirdiler ve bu performanslardan en iyisi değerlendirmeye alındı.

3.2.1. Antropometrik Ölçümler

Boy uzunluğu: Sporcu ayakları çıplak şekilde düz bir zeminde duvar skalasına doğru bir açıda durmuştur. Deneğin ağırlığı iki ayağına eşit dağıtılmış, topuklar birleşik ve duvar skalasına temasta, baş frankfort planında, kollar omuzlardan serbestçe yanlara sarkıtılmış durumdadır. Ölçüm sırasında denekten derin bir nefes alması ve dik pozisyonunu topukları yerden ayrılmaksızın tutması istenmiştir. Başın en üst noktasından saçlar yeterli miktarda sıkıştırılarak ölçüm 1 mm'ye kadar not edilmiştir (Özer, 1993).

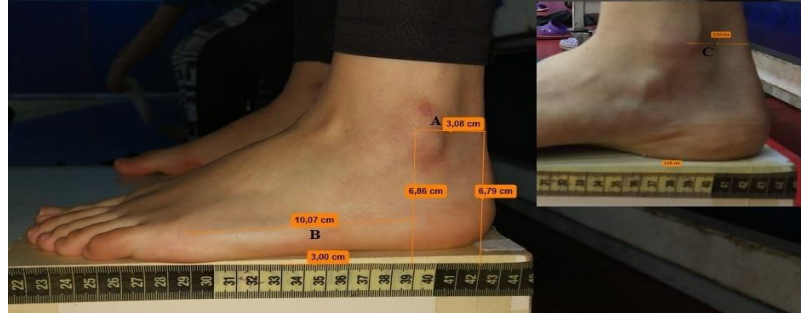
Vücut ağırlığı: Katılımcılar üzerlerinde atlet ve şort ile basküle çıkarılarak ve ölçüm yapılmıştır. Değerler kg cinsinden kaydedildi (Özer, 1993).

Toplam bacak uzunluğu: Toplam bacak uzunluğu için, katılımcı ayaktayken kalça eklemiyle yer arasındaki trochanter yükseklik mezura ile ölçülerek belirlendi (Özer, 1993).

Beden yağ yüzdesi, Beden kitle İndeksi (BKİ) ve kas kütlesi: Bioelektrik impedans yöntemiyle belirlendi (Tanita body composition analyzer TBF-300).

Kalf çevresi: Bir mezura kullanılarak medial diz eklem hattının 15 cm altından ölçülerek kayıt edildi (Carmont ve ark, 2013).

Aşil tendon moment kolu uzunluğunun belirlenmesi ($L_{aşil}$): Bir ölçüm sehvası hazırlandı ve sporcuların dominant taraftaki ayak fotoğrafları bu sehpa üzerinde çekilerek, Kinovea Software (Version:0.8.27, France) ile analiz edildi. A ve C noktaları malleoluslardan aşil tendonuna olan mesafeyi temsil etmektedir. A ve C değerlerinin ortalama değeri aşil tendon moment kolu uzunluğunu verir. B değeri, lateral malleol üzerindeki işaretli nokta ile beşinci metatarsalın başı arasındaki yatay mesafe ön ayak uzunluğunu temsil etmektedir ($L_{önayak}$) (Şekil 3.1) (Hansen ve ark, 2021).



Şekil 3.1. Aşil tendon moment kolunun belirlenmesi

3.2.2. Drop jump performans ölçümü

Katılımcıların DJ performansının belirlenmesinde 7 farklı yükseklik (30, 35, 40, 45, 50, 55 ve 60 cm) kullanılmıştır. Katılımcıların yükseklik farklarından performans olarak etkilenmemeleri için her yüksekliği farklı günlere planlanmış ve sıçrama yükseklikleri random olarak günlere ayrılmıştır. Her ölçüm gününde katılımcılar takımla beraber genel ve branşa özgü ısınmalarını yaptıktan sonra, DJ performanslarını sergilemek için vücut ısılarının düşmeyeceği ölçüm odasına geldiler. Katılımcılara o gün için hazırlanmış DJ

platformundan, elleri bellerinde sabit olacak şekilde DJ performansı sergilemeleri ve minimum t_{temas} da maksimum $h_{sıçrama}$ ulaşmaları talimatı verildi. Her katılımcıdan alıştırma amacı ile 2 DJ denemesi istendi. Alıştırma aşaması sonrasında DJ performans ölçümüne geçildi. Katılımcılardan 3 deneme yapmalarını istedik ve performansları Optojump (Microgate, Bolzano, Italy) ve Sony kamera ile kayıt altına alındı. Yerle temas süresi (t_{temas}), havada kalma süresi ($t_{uçuş}$), sıçrama yüksekliği ($h_{sıçrama}$), reaktif kuvvet indeksi (RSI), uzama-kısalma döngüsü (SSC) vb. verilerin değerlendirmesinde 3 DJ denemesinden en iyi olanının verisini kullanıldı.

3.3. İstatistiksel Analiz

Çalışma sonuçları “Statistical Package for Social Sciences” (SPSS) Version 23.0 (SPSS inc., Chicago, IL, ABD) istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunlukları Shapiro-Wilk testi ile sınanmıştır. Tüm veriler ($\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} , RSI, t_{temas} , DJ) tekrarlı ölçümler ANOVA'nın non-parametrik karşılığı olan, tekrarlı ölçümler için Friedman testi ile karşılaştırılmıştır. İkili karşılaştırmalarda Wilcoxon Signed Rank test kullanılmıştır. “p” değerinin 0.05'ten küçük olması anlamlı kabul edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Spearman rho analizi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Araştırmaya Katılan Sporcuların Fiziksel Özellikleri

Araştırmaya katılan sporcuların yaş, boy, ağırlık, bacak boyu, kalf kalınlığı, yağı yüzdesi, yağı kütlesi, yağısız kütlesi, kas kütlesi, vücut sıvı miktarı, vücut sıvı yüzdesi, kemik kütlesi, bazal metabolizma hızı ve vücut kitle indeksi değerleri tablo 4.1. 'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Katılımcıların fiziksel özellikleri

Parametreler (N=13)	AO \pm SS
Yaş (yıl)	21.53 \pm 4.46
Boy (m)	1.72 \pm 0.06
Ağırlık (kg)	67.26 \pm 8.33
Bacak boyu (cm)	94.34 \pm 4.35
Kalf çevresi (cm)	35.84 \pm 1.23
Yağı yüzdesi (%)	22.18 \pm 4.05
Yağı kütlesi (kg)	15.06 \pm 4.28
Yağısız kütle - FFM (kg)	52.2 \pm 5.45
Kas kütlesi - MM (kg)	49.56 \pm 5.19
Vücut sıvı miktarı (l)	38.34 \pm 6.35
Vücut sıvı yüzdesi (%)	54.93 \pm 2.5
Kemik kütlesi (kg)	2.73 \pm 0.26
Bazal metabolizma hızı (BMR)	6641.53 \pm 571.21
Beden kitle İndeksi (BKİ)	22.64 \pm 2.45

4.2. Ön Ayak Uzunluğu ve Aşıl Tendon Moment Kolu

Katılımcıların sağ ve sol ön ayak uzunluğu ($L_{\text{önayak}}$) ve aşıl tendon moment kolu ($L_{\text{aşıl}}$) parametreleri tablo 4.2. 'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Ayak parametreleri tablosu

Parametreler (N=13)	AO ± SS	
	Sağ Ayak	Sol Ayak
Lönayak (cm)	11.04 ± 0.85	10.83 ± 0.54
Laşil (cm)	3.46 ± 0.37	3.7 ± 0.27

4.3. Araştırmaya Katılan Sporcuların DJ Performansları

Bu bölümde, sporcuların farklı yüksekliklerden sergiledikleri DJ performansları, $h_{sıçrama}$, RSI, t_{temas} , $\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} değerleri incelenmiştir.

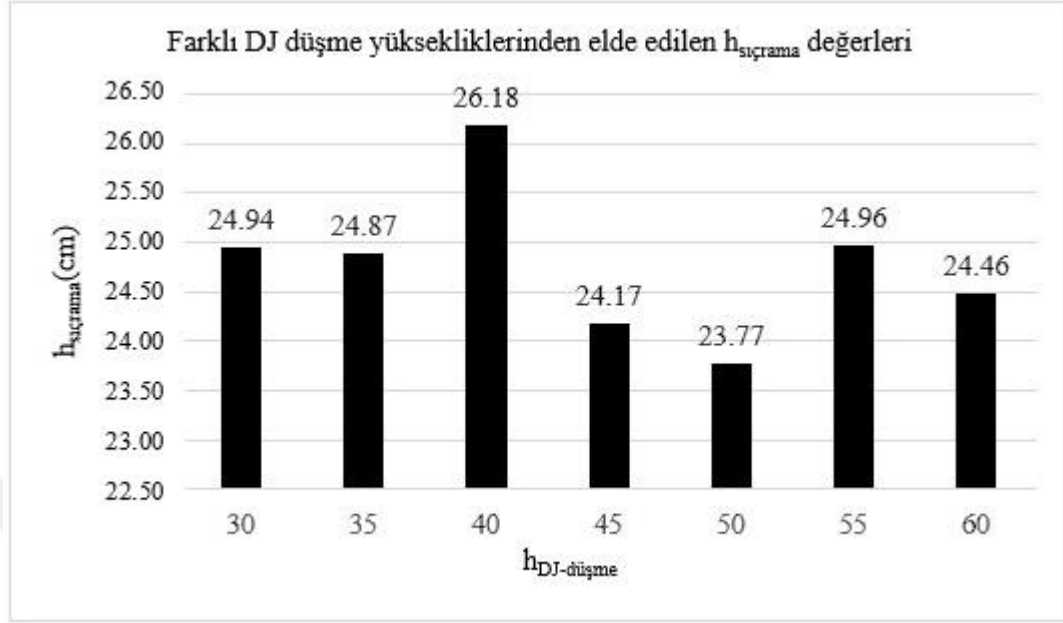
Katılımcıların farklı yüksekliklerden gerçekleştirdikleri DJ performanlasındaki t_{temas} (s), $t_{uçuş}$ (s), $h_{sıçrama}$ (cm), Güç (w/kg), RSI (m/s) verileri tablo 4.3. 'da verilmiştir.

Tablo 4.3. DJ verileri tablosu

Parametreler (N=13)	DJ ₃₀	DJ ₃₅	DJ ₄₀	DJ ₄₅	DJ ₅₀	DJ ₅₅	DJ ₆₀
t_{temas} (s)	0.224 ± 0.02	0.220 ± 0.03	0.218 ± 0.02	0.222 ± 0.02	0.229 ± 0.02	0.220 ± 0.03	0.217 ± 0.02
$t_{uçuş}$ (s)	0.450 ± 0.04	0.449 ± 0.03	0.462 ± 0.02	0.443 ± 0.04	0.438 ± 0.04	0.450 ± 0.04	0.446 ± 0.03
$h_{sıçrama}$ (cm)	24.94 ± 4.09	24.87 ± 3.37	26.18 ± 2.57	24.17 ± 3.92	23.77 ± 4.61	24.96 ± 4.43	24.46 ± 3.47
Güç (w/kg)	33.04 ± 4.17	33.48 ± 5.97	35 ± 4.36	23.43 ± 6.19	31.36 ± 6.98	33.71 ± 7.48	33.21 ± 5.38
RSI (m/s)	1.13 ± 0.27	1.16 ± 0.27	1.22 ± 0.20	1.11 ± 0.27	1.06 ± 0.31	1.17 ± 0.34	1.15 ± 0.24

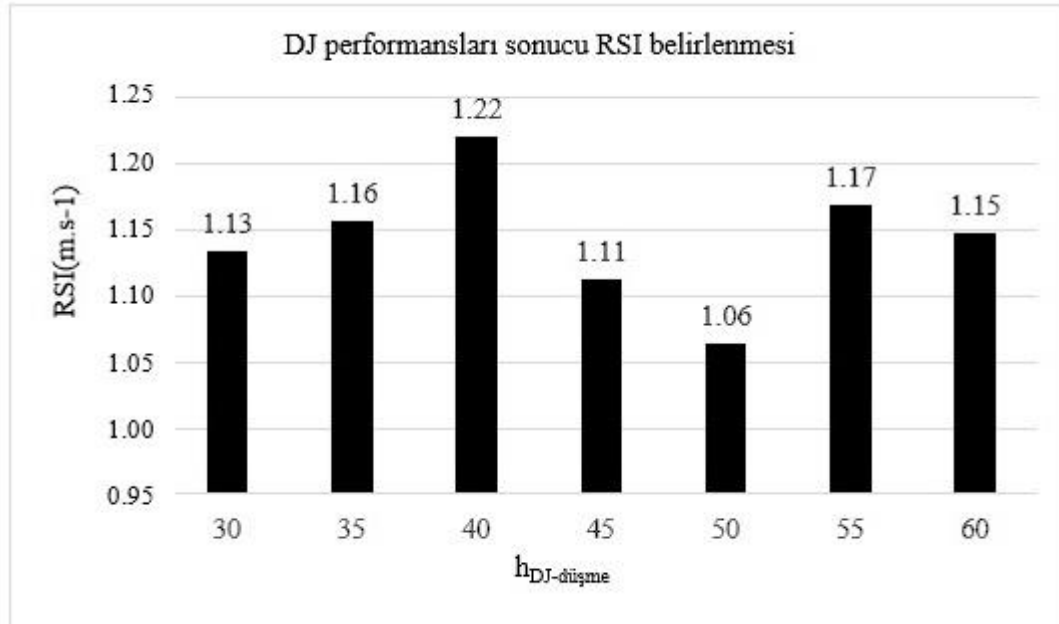
Tablo 4.3. incelendiğinde t_{temas} (s) süresi verisinin DJ₆₀ ve DJ₄₀ yüksekliklerinde diğer yüksekliklere göre daha anlamlı derecede sonuç vermiştir. DJ₄₀ yüksekliğinden yapılan sıçramalarda $t_{uçuş}$ (s), $h_{sıçrama}$ (cm), Güç (w/kg) ve RSI (m/s) parametrelerinde diğer yüksekliklere göre daha anlamlı derecede sonuç verdiği görülmüştür.

Katılımcıların farklı düşme yüksekliklerinden yaptıkları DJ 'ler sonucu elde edilen $h_{sıçrama}$ (cm) verileri şekil 4.1. 'de, RSI (m.s-1) verileri şekil 4.2. 'de ve t_{temas} (s) verileri şekil 4.3. 'de gösterilmiştir.



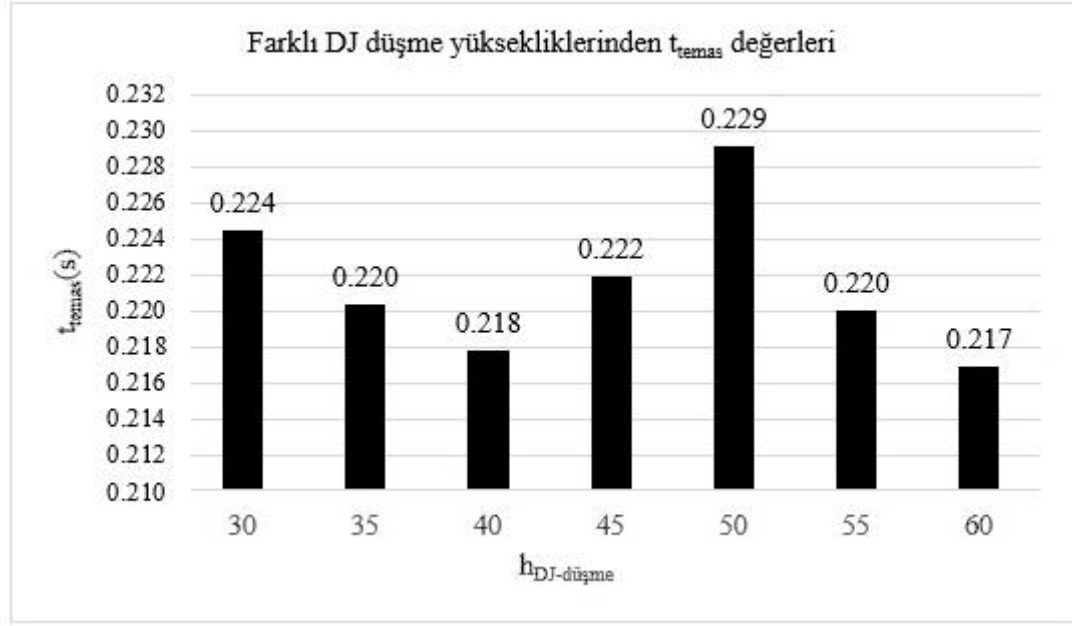
Şekil 4.1. Farklı DJ düşme yüksekliklerinden elde edilen $h_{sıçrama}$ değerleri

Şekil 4.1. incelendiğinde DJ₄₀ ‘dan gerçekleştirilen performansların $h_{sıçrama}$ değerlerinin diğer yüksekliklerden daha anlamlı derecede sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. DJ performansları sonucu RSI belirlenmesi.

Şekil 4.2. incelendiğinde DJ₄₀ ‘dan gerçekleştirilen performansların RSI değerlerinin diğer yüksekliklerden daha anlamlı düzeyde sonuç vermiştir.



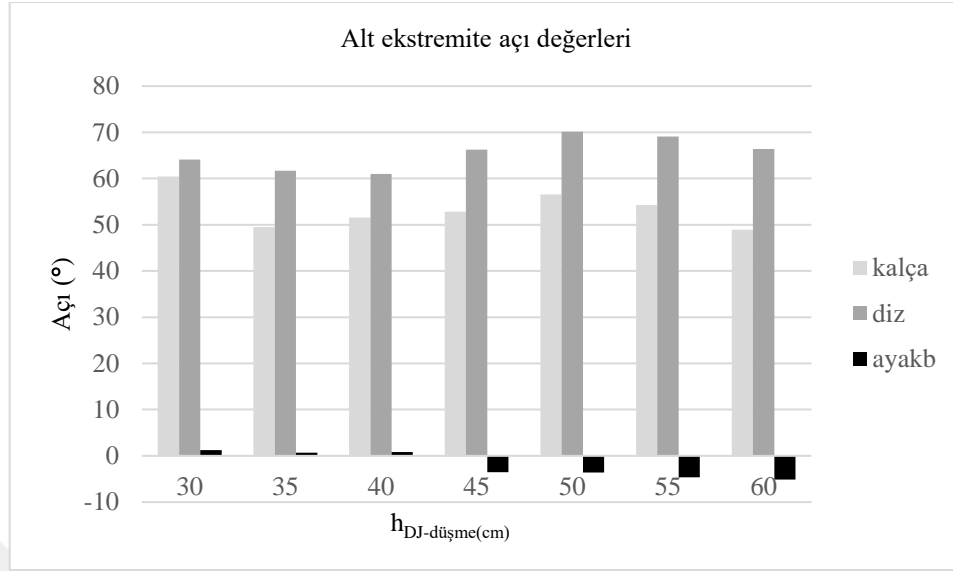
Şekil 4.3. Farklı DJ düşme yüksekliklerinde t_{temas} değerleri

Şekil 4.3. incelendiğinde DJ₆₀ ve DJ₄₀ ‘dan gerçekleştirilen performansların t_{temas} değerlerinin diğer yüksekliklerden daha anlamlı düzeyde sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

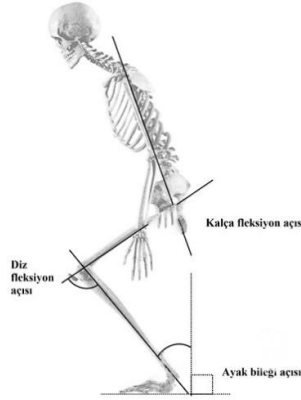
Katılımcıların DJ sıçraması gerçekleştirildikten sonra, ayak tabanlarının yerle tam teması anında kalça fleksiyon açısı ($\theta_{kalça}(\circ)$), diz fleksiyon açısı ($\theta_{diz}(\circ)$) ve ayak bileği fleksiyon açısı ($\theta_{ayakb}(\circ)$) tablo 4.4. ‘de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. DJ sonrası yer ile tam temas anında alt ektremite açısal değerleri

Parametreler (N=13)	DJ ₃₀	DJ ₃₅	DJ ₄₀	DJ ₄₅	DJ ₅₀	DJ ₅₅	DJ ₆₀
$\theta_{kalça}(\circ)$	60.42	49.48	51.6	52.79	56.53	54.25	48.95
$\theta_{diz}(\circ)$	64.09	61.67	60.99	66.25	70.11	69.05	66.35
$\theta_{ayakb}(\circ)$	1.25	0.67	0.83	-3.57	-3.61	-4.66	-5.15



Şekil 4.4. DJ sonrası yer ile tam temas anında $\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} değerleri



Şekil 4.5. DJ sonrası yer ile tam temas anında $\theta_{kalça}$, θ_{diz} , θ_{ayakb} değerlerinin temsili gösterimi (Kawaguchi ve ark, 2021)

Tablo 4.4. incelendiğinde DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalarda $\theta_{kalça}(^{\circ})$ değerleri, DJ₆₀ ve DJ₃₅ 'e göre daha büyük değere sahip olsa da diğer yüksekliklerden daha küçük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. $\theta_{diz}(^{\circ})$ verileri incelendiğinde DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalardaki $\theta_{diz}(^{\circ})$ 'nın diğer yüksekliklere göre en küçük açı değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. $\theta_{ayakb}(^{\circ})$ verileri incelendiğinde DJ₃₅ 'den gerçekleştirilen sıçramalarda 0.67, DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalarda 0.83 değerlerinin elde edildiği

gözlemlenmiştir ve DJ₄₀ ‘dan daha yüksek olan sıçrama yüksekliklerinde $\theta_{\text{ayakb}}(^{\circ})$ verilerinineksi (-) değerler aldığı gözlemlenmiştir.

4.4. DJ Performanslarının İstatistiksel Analiz Sonuçları

Sporcuların farklı yüksekliklerden gerçekleştirdikleri DJ performanslarının alt ekstremite açısal değerleri ile ilgili istatistiksel analiz sonuçları tablo 4.5., 4.6., 4.7. ve 4.8.’de verilmiştir. Veriler arasındaki korelasyon değerleri tablo 4.9. ‘de verilmiştir.

Tablo 4.5. DJ sonrası yer ile tam temas anında alt ektremite açısal değerlerinin istatistiksel analizi

N=13		AO	SS	Sıra Ortalaması	X ²	p
$\theta_{\text{kalça}}(^{\circ})$	DJ ₃₀	60.42	7.51	1.78	26.994	<0.001**
	DJ ₃₅	49.48	3.83	5.33		
	DJ ₄₀	51.6	6.47	4.67		
	DJ ₄₅	52.79	5.04	4.06		
	DJ ₅₀	56.53	3.28	2.11		
	DJ ₅₅	54.25	2.89	4.28		
	DJ ₆₀	48.95	3.29	5.78		
$\theta_{\text{diz}}(^{\circ})$	DJ ₃₀	64.09	6.33	4.56	26.636	<0.001**
	DJ ₃₅	61.67	2.13	5.72		
	DJ ₄₀	60.99	4.62	5.78		
	DJ ₄₅	66.25	3.86	3.67		
	DJ ₅₀	70.11	3.22	1.89		
	DJ ₅₅	69.05	4.00	2.33		
	DJ ₆₀	66.35	4.86	4.06		
$\theta_{\text{ayakb}}(^{\circ})$	DJ ₃₀	1.25	2.03	1.61	34.876	<0.001**
	DJ ₃₅	0.67	4.00	3.00		
	DJ ₄₀	0.83	1.46	2.22		
	DJ ₄₅	-3.57	1.96	4.28		
	DJ ₅₀	-3.61	1.99	5.39		
	DJ ₅₅	-4.66	1.17	5.83		
	DJ ₆₀	-5.15	0.85	5.67		
RSI					5.497	0.482
t _{temas} (s)	DJ ₃₀ -DJ ₃₅ -DJ ₄₀ -DJ ₄₅ -DJ ₅₀ -DJ ₅₅ -DJ ₆₀				6.759	0.344

DJ(cm)		7.488	0.278
--------	--	-------	-------

**p<0.001

Farklı DJ düşme yüksekliklerinde $\theta_{kal\a}$ ($X^2(6)=26.994$, $p<0.01$), θ_{diz} ($X^2(6)=26.636$, $p<0.01$) ve θ_{ayakb} ($X^2(6)=34.876$, $p<0.01$) değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 4.6. Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen $\theta_{kal\a}$ değerlerinin ikili karşılaştırılması

(N=13)		Sıra	Sıra Toplamı	Z	p	
		Ortalaması				
$\theta_{kal\a}(35-30)$	Negatif Sıralar	0	0.00			
	Pozitif Sıralar	9	5.00	45.00	-2.666	0.008*
	Toplam	9				
$\theta_{kal\a}(40-30)$	Negatif Sıralar	1	6.00	6.00		
	Pozitif Sıralar	9	5.44	49.00	-2.191	0.028*
	Toplam	10				
$\theta_{kal\a}(45-30)$	Negatif Sıralar	3	2.83	8.50		
	Pozitif Sıralar	11	8.77	96.50	-2.763	0.006*
	Toplam	14				
$\theta_{kal\a}(55-30)$	Negatif Sıralar	1	8.50	8.50		
	Pozitif Sıralar	12	6.88	82.50	-2.587	0.010*
	Toplam	13				
$\theta_{kal\a}(60-30)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00		
	Pozitif Sıralar	11	6.00	66.00	-2.936	0.003*
	Toplam	11				
$\theta_{kal\a}(50-35)$	Negatif Sıralar	9	5.00	45.00		
	Pozitif Sıralar	0	.00	.00	-2.666	0.008*
	Toplam	9				
$\theta_{kal\a}(55-35)$	Negatif Sıralar	7	5.86	41.00		
	Pozitif Sıralar	2	2.00	4.00	-2.587	0.010*
	Toplam	9				
$\theta_{kal\a}(50-40)$	Negatif Sıralar	8	5,88	47.00		
	Pozitif Sıralar	2	4.00	8.00	-1.998	0.047*
	Toplam	10				
$\theta_{kal\a}(50-45)$	Negatif Sıralar	11	8.77	96.50		
	Pozitif Sıralar	4	5.88	23.50	-2.073	0.038*
	Toplam	15				
$\theta_{kal\a}(60-45)$	Negatif Sıralar	3	3.67	11.00	-1.956	
	Pozitif Sıralar	8	6.88	55.00		0.050*

	Toplam	11				
$\theta_{kal\ca}(55-50)$	Negatif Sıralar	2	8.50	17.00		
	Pozitif Sıralar	11	6.73	74.00	-1.992	0.046*
	Toplam	13				
$\theta_{kal\ca}(60-50)$	Negatif Sıralar		.00	.00		
	Pozitif Sıralar	11	6.00	66.00	-2.934	0.003*
	Toplam	11				
$\theta_{kal\ca}(60-55)$	Negatif Sıralar	2	2.00	4.00		
	Pozitif Sıralar	9	6.89	62.00	-2.578	0.010*
	Toplam	11				

*p<0.05

DJ(40)'den elde edilen $\theta_{kal\ca}$ değeri (Mdn=130.00), DJ(30)'den elde edilen $\theta_{kal\ca}$ değerine (Mdn=123.40) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-2.191, p<0.05, r=-0.69). DJ(50)'den elde edilen $\theta_{kal\ca}$ değeri (Mdn=122,000), DJ(40)'den elde edilen $\theta_{kal\ca}$ değerine (Mdn=130.00) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-1.998, p<0.05, r=-0.63).

Tablo 4.7. Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen θ_{diz} değerlerinin ikili karşılaştırılması

(N=13)	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p		
$\theta_{diz}(50-30)$	Negatif Sıralar	11	7.45	82.00		
	Pozitif Sıralar	2	4.50	9.00	-2.551	0.11
	Toplam	13				
$\theta_{diz}(55-30)$	Negatif Sıralar	10	7.20	72.00		
	Pozitif Sıralar	3	6.33	19.00	-1.853	0.064
	Toplam	13				
$\theta_{diz}(45-35)$	Negatif Sıralar	8	5.50	44.00		
	Pozitif Sıralar	1	1.00	1.00	-2.547	0.011*
	Toplam	9				
$\theta_{diz}(50-35)$	Negatif Sıralar	9	5.00	45.00		
	Pozitif Sıralar	0	.00	.00	-2.666	0.008*
	Toplam	9				
$\theta_{diz}(55-35)$	Negatif Sıralar	9 ^a	5.00	45.00		
	Pozitif Sıralar	0 ^a	.00	.00	-2.666	0.008*
	Toplam	9				
$\theta_{diz}(60-35)$	Negatif Sıralar	6	5.17	31.00		
	Pozitif Sıralar	2	2.50	5.00	-1.820	0.069
	Toplam	9				

$\theta_{diz}(45-40)$	Negatif Sıralar	8	5.63	45.00		
	Pozitif Sıralar	2	5.00	10.00		
	Toplam	10				
$\theta_{diz}(50-40)$	Negatif Sıralar	9	6.00	54.00	-1.785	0.074
	Pozitif Sıralar	1	1.00	1.00		
	Toplam	10				
$\theta_{diz}(55-40)$	Negatif Sıralar	8	6.38	51.00	-2.395	0.017*
	Pozitif Sıralar	2	2.00	4.00		
	Toplam	10				
$\theta_{diz}(60-40)$	Negatif Sıralar	7	6.43	45.00	-1.784	0.074
	Pozitif Sıralar	3	3.33	10.00		
	Toplam	10				
$\theta_{diz}(50-45)$	Negatif Sıralar	13	8.31	108.00	-2.726	0.006*
	Pozitif Sıralar	2	6.00	12.00		
	Toplam	15				
$\theta_{diz}(55-45)$	Negatif Sıralar	11	6.73	74.00	-1.994	0.046*
	Pozitif Sıralar	2	8.50	17.00		
	Toplam	13				
$\theta_{diz}(60-50)$	Negatif Sıralar	2	4.50	9.00	-2.135	0.033*
	Pozitif Sıralar	9	6.33	57.00		
	Toplam	11				
$\theta_{diz}(60-55)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-2.934	0.003*
	Pozitif Sıralar	11	6.00	66.00		
	Toplam	11				

*p<0.05

DJ(50)'den elde edilen θ_{diz} değeri (Mdn=109.900), DJ(40)'den elde edilen θ_{diz} değerine (Mdn=119.500) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-2.701, p<0.05, r=-0.85). DJ(55)'den elde edilen θ_{diz} değeri m(Mdn=109.600), mDJ(40)'den elde edilen θ_{diz} değerine (Mdn=119.500) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-2.395, p<0.05, r=-0.75).

Tablo 4.8. Farklı DJ yüksekliklerinden elde edilen θ_{ayakb} değerlerinin ikili karşılaştırılması

(N=13)	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p	
$\theta_{ayakb}(45-30)$	Negatif Sıralar	0	.00	-3.180	0.001*
	Pozitif Sıralar	13	7.00		
	Toplam	14			
$\theta_{ayakb}(50-30)$	Negatif Sıralar	1	1.00	-3.233	0.001*

	Pozitif Sıralar	13	8.00	104.00		
	Toplam	14				
$\theta_{\text{ayakb}}(55-30)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-3.184	0.001*
	Pozitif Sıralar	13	7.00	91.00		
	Toplam	13				
$\theta_{\text{ayakb}}(60-30)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-2.936	0.003*
	Pozitif Sıralar	11	6.00	66.00		
	Toplam	11				
$\theta_{\text{ayakb}}(45-35)$	Negatif Sıralar	2	2.50	5.00	-2.073	0.038*
	Pozitif Sıralar	7	5.71	40.00		
	Toplam	9				
$\theta_{\text{ayakb}}(50-35)$	Negatif Sıralar	2	2.50	5.00	-2.073	0.038*
	Pozitif Sıralar	7	5.71	40.00		
	Toplam	9				
$\theta_{\text{ayakb}}(55-35)$	Negatif Sıralar	1	1.00	1.00	-2.547	0.011*
	Pozitif Sıralar	8	5.50	44.00		
	Toplam	9				
$\theta_{\text{ayakb}}(60-35)$	Negatif Sıralar	1	1.00	1.00	-2.547	0.011*
	Pozitif Sıralar	8	5.50	44.00		
	Toplam	9				
$\theta_{\text{ayakb}}(45-40)$	Negatif Sıralar	1	1.00	1.00	-2.701	0.007*
	Pozitif Sıralar	9	6.00	54.00		
	Toplam	10				
$\theta_{\text{ayakb}}(50-40)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-2.803	0.005*
	Pozitif Sıralar	10	5.50	55.00		
	Toplam	10				
$\theta_{\text{ayakb}}(55-40)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-2.803	0.005*
	Pozitif Sıralar	10	5.50	55.00		
	Toplam	10				
$\theta_{\text{ayakb}}(60-40)$	Negatif Sıralar	0	.00	.00	-2.805	0.005*
	Pozitif Sıralar	10	5.50	55.00		
	Toplam	10				

*p<0.05

DJ(45)'den elde edilen θ_{ayakb} değeri (Mdn=93.700), DJ(40)'den elde edilen θ_{ayakb} değerine (Mdn=88.600) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-2.701, p<0.05, r=-0.85).

DJ(50)'den elde edilen θ_{ayakb} değeri (Mdn=94.900), DJ(40)'den elde edilen θ_{ayakb} değerine (Mdn=88.600) göre anlamlı düzeyde yüksektir (Z=-2.803, p<0.05, r=-0.88).

DJ(55)'den elde edilen θ_{ayakb} değeri (Mdn=95.200), DJ(40)'den elde edilen θ_{ayakb} değerine (Mdn=88.600) göre anlamlı düzeyde yüksektir ($Z=-2.803$, $p<0.05$, $r=-0.88$). DJ(60)'den elde edilen θ_{ayakb} değeri (Mdn=95.400), DJ(40)'den elde edilen θ_{ayakb} değerine (Mdn=88.600) göre anlamlı düzeyde yüksektir ($Z=-2.805$ $p<0.05$, $r=-0.77$).

Tablo 4.9. Veriler arasındaki korelasyon

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Lönayak	1												
2 Laşıl	0.565	1											
3 MM	0.351	0.618*	1										
4 FFM	0.351	0.618*	1.000	1									
5 Ağırılık	0.405	0.691*	0.928**	0.928**	1								
6 DJ ₃₅	0.350	-0.433	-0.717*	-0.717*	-0.767*	1							
7 DJ ₄₀	-0.685*	0.285	-0.321	-0.321	-0.406		1						
8 $\theta_{kalça}$ (DJ ₃₀)	0.346	0.182	0.407	0.407	0.479			1					
9 θ_{diz} (DJ ₃₅)	0.433	0.717*	0.867**	0.867**	0.883**				1				
10 θ_{diz} (DJ ₄₀)	0.552	0.867**	0.467	0.467	0.576					1			
11 θ_{ayakb} (DJ ₃₀)	0.096	0.256	0.314	0.314	0.428			0.548*			1		
12 t_{emas} (DJ ₅₀)	0.533	0.645*	0.692**	0.692**	0.777**							1	
13 RSI(DJ ₃₅)	0.267	-0.317	-0.667*	-0.667*	-0.667*	0.967**							1

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

Tablo 4.5. 'de Lönayak değişkeni DJ₄₀ ($r=-0.685$, $p<0.05$) ile negatif korelasyonu bulunmuştur. Laşıl değişkeni, MM($r=0.618$, $p<0.05$), FFM($r=0.618$, $p<0.05$), ağırılık ($r=0.691$, $p<0.05$), $\theta_{diz(35)}$ ($r=0.717$, $p<0.05$), $\theta_{diz(40)}$ ($r=0.867$, $p<0.01$) ve $t_{emas(50)}$ ($r=0.645$, $p<0.05$) ile pozitif korelasyonu bulunmaktadır. MM değişkeni ağırılık ($r=0.928$, $p<0.01$) ile pozitif korelasyonu bulunmuştur. DJ₃₅ ile ($r=-0.717$, $p<0.05$) ile negatif korelasyon göstermiştir. $\theta_{diz(35)}$ ($r=0.867$, $p<0.01$), $t_{emas}(DJ_{50})$ ($r=0.692$, $p<0.01$) pozitif korelasyon gösterirken, RSI(DJ₃₅) ($r=-0.667$, $p<0.05$) ile negatif korelasyonu bulunmuştur. FFM değişkeni, ağırılık ($r=0.928$, $p<0.01$) ile pozitif korelasyonu

bulunmuştur. DJ_{35} ile ($r=-0.717$, $p<0.05$) ile negatif korelasyonu bulunmuştur. $\theta_{diz}(DJ_{35})$ ($r=0.867$, $p<0.01$), $t_{emas}(DJ_{50})$ ($r=0.692$, $p<0.01$) pozitif korelasyon gösterirken, $RSI(DJ_{35})$ ($r=-0.667$, $p<0.05$) ile negatif korelasyonu bulunmuştur. Ağırlık DJ_{35} ($r=-0.767$, $p<0.05$) ile negatif ilişkili iken, $\theta_{diz(35)}$ ($r=0.883$, $p<0.01$) ve $t_{emas(50)}$ ($r=0.777$, $p<0.01$) ile pozitif ilişkili iken, $RSI(DJ_{35})$ ($r=-0.667$, $p<0.05$) ile negatif ilişkilidir. DJ_{35} değişkeni $RSI(DJ_{35})$ ($r=0.967$, $p<0.01$) ile pozitif korelasyonu bulunmuştur. $\theta_{kalça}(DJ_{30})$ değişkeni $\theta_{ayakb}(DJ_{30})$ ($r=0.548$, $p<0.05$) ile pozitif korelasyonu bulunmaktadır.



5. TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı düşme yüksekliklerinden yapılan DJ ile alt ekstremite biomekaniğin özellikleri ve yaralanmayı engellemek amacıyla en uygun düşme yüksekliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla sadece temas değerleri <250 ms olan düşmeler incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları düşme yükseklikleri arasında farklılıklar olduğunu göstermiş, bazı kinematik parametrelerde ($h_{sıçrama}$, güç, t_{temas} ve RSI) DJ₄₀ cm'ye kadar olan yüksekliğe kadar artış, sonrasında ise azalma gözlenmiştir. Elde edilen en iyi sıçrama yüksekliği, en az t_{temas} , en yüksek güç değeri ve en yüksek RSI değeri DJ₄₀ cm'de belirlenmiştir. Düşme yüksekliği artarken $h_{sıçrama}$ performansı azalmıştır. Bu daha yüksek düşme yüksekliklerinden elde edilen impuls($F.t$) değerini artırırken sıçrama performansının artmadığını gösterir. Jensen ve Ebben(2007)'in yaptığı çalışmada 46 ve 61 cm'lerden yapılan DJ performansları arasında oluşan maksimum kuvvetler açısından fark bulunmamış, ancak çarpma kuvvetlerinin 50 cm yüksekliklerden yapılan düşmelerde artmış, 60 cm yüksekliklerden yapılan düşmelerde ise aşırı olabileceği belirtilmiştir. En yüksek çarpma kuvvetinin ise 50cm ve 60cm arasında bir düşme yüksekliğinde oluşabileceği, bunun da kas-iskelet sistemine aşırı yükler getirerek yaralanmalara neden olabileceği belirtilmiştir(McNitt-Gray, 1991). Düşme yüksekliği ne kadar yüksek olursa, iniş sırasında eklemlerin ve kasların yavaşlamak için harcadığı çaba kadar fazla olacaktır. Bu sıçrama performansında azalmaya neden olurken, golgi tendon organından gelen nöral inhibisyonun bir sonucudur(Sousa ve ark, 2007).

Bu çalışmada DJ₄₅ cm'den sonra yerle temas sırasında, θ_{ayakb} 'ndeki değişimler, kas ve tendon kompleksinin negatif çalışma sergilediğini göstermektedir. Van Ingen Schneau(1997)'ya göre düşme yüksekliği arttıkça, iniş sırasında tendon dokusunda depolanan negatif iş ve elastik enerji miktarı artar. Bu da tekrar sıçramaya geçme evresinde daha fazla elastik enerjinin salınmasını kolaylaştırmalıdır. Ancak kas kuvvetinin büyüklüğü yeterli değil ise, iş tendinöz dokuda depolanmaz ve ısı olarak dağılır, tendonlardaki elastik enerji eklemde oluşan güç üretimine katkı sağlamaz. Bu çalışmadan elde edilen bulgular DH₄₅'den sonra negatif işin artmaya başladığı ve DJ₆₀'da maksimum seviyeye geldiğini göstermektedir. Ancak $h_{sıçrama}$ değerlerinde iyileşme gözlenmemiştir. Bu bacak ve ayak bileği sertliğinin azalmasından kaynaklanabilir(Peng,

2011). Bu durum yerle temas sırasında vücut şeklinin değişmesinin bacak setliğini ve diz açısı üzerinde etkili olmasındandır(Arampatzis ve ark, 2001; Farley ve ark, 1998). Gerçekten de farklı düşme yükseklerinde $\theta_{kalça}$ ve θ_{diz} sonuçları incelendiğinde, her bir düşme yüksekliği sonrasında neredeyse tüm sonuçların birbirinden farklı olduğu ve vücudun değişik pozisyonlarda iniş gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak Arampatzis ve ark. (2001) ve Farley ve ark.(1998)'nin sonuçlarına göre farklı düşme yükseklikleri iniş sırasında bacak setliği üzerinde etkili olmuş olabilir. DJ₄₀ cm'de kalça ve diz açıları dikkate alındığında, yerle temas sırasında vücudun kapalı bir pozisyonda yerleştiği (en az diz ve kalça fleksiyon açı değerleri) görülürken, artmış ayak bileği plantar fleksiyon değeri DJ₄₅ cm'de elde edilmiştir. İniş sırasında sınırlı bir dorsifleksiyon hareket genişliği daha az diz fleksiyon açısına ve daha fazla diz valgus açısının oluşmasına neden olur. Bu durum daha fazla dikey yönde yer tepki kuvvetlerinin oluşmasına ve ön çapraz bağlarda yükün artmasına sağlayarak yaralanma riskinin arttırır(Fong ve ark., 2011; Lesinski ve ark., 2018). DJ₄₀ cm ve DJ₄₅ cm düşme yüksekliklerinde $\theta_{kalça}$ ve θ_{diz} değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı olmadığından, DJ₄₀ ve DJ₄₅ cm arasında bir düşme yüksekliğinin kritik düşme yüksekliği olabileceğini göstermektedir. Düşme yüksekliği arttıkça diz fleksiyon açısı artar ve iniş sırasında oluşan darbenin azaltılması için dizlerde daha fazla esneme meydana gelir. Bu bacak-diz eklem sertliğini azaltarak verimsiz bir uzama-kısalma döngüsü oluşmasına neden olur ve sıçrama performansını düşürür. Yetersiz diz fleksiyon açısı aşırı diz valgus açısıyla beraber yaralanmanın sebebi olarak belirtilmiştir. Bulgulara göre artan DJ yüksekliği ile diz valgus açısı doğru orantılıdır(Lesinski ve ark., 2018).

Çalışma sonunda elde edilen RSI değerleri de DJ₄₀ cm'nin kritik düşme yüksekliği olabileceği konusunu desteklemektedir. Çünkü en yüksek RSI değeri DJ₄₀ cm'de belirlenmiştir. RSI dinamik alt ekstremite performansı hakkında basit bir fikir vermesinin yanı sıra, DJ sırasında vücudun kas-iskelet sisteminin dikey sertliği ile ilişkili biomekanik davranışı yansıtmaktadır. DJ performans özelliklerinin yaralanma potansiyelini izlemek için kas-iskelet sertliğinin belirleyicisi olduğu, dikey sertliğin düşme yüksekliği ve RSI ile ilişkili olduğu bilinmektedir(Kipp ve ark., 2017). Bu nedenle optimal düşme yüksekliğinin belirlenmesi için de önemli bir parametre olarak görülmektedir(Prieske ve ark., 2019).

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Sporcuların farklı yüksekliklerden sergiledikleri DJ performansları ve alt ekstremite açısız değerleri arasındaki ilişkinin, spor yaralanmasından kaçınılarak maksimum verimin alındığı optimum DJ düşme yüksekliğinin belirlenmesinin amaçlandığı çalışmadan elde edilmiş sonuçlar:

Sporcuların DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen performanslarının $h_{sıçrama}$ değerleri diğer düşme yüksekliklerine oranla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Sporcuların DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen performanslarının RSI değerleri diğer düşme yüksekliklerinden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Sporcuların DJ₆₀ ve DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen performanslarının t_{temas} değerleri diğer düşme yüksekliklerinden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sporcuların DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalarda $\theta_{kalça}$ (°) değerleri, DJ₆₀ ve DJ₃₅ 'e göre daha büyük değere sahip olsa da diğer yüksekliklerden daha küçük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sporcuların θ_{diz} (°) verileri incelendiğinde DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalardaki θ_{diz} (°) 'nın diğer yüksekliklere göre en küçük açısız değer olduğu gözlemlenmiştir.

Sporcuların θ_{ayakb} (°) verileri incelendiğinde DJ₃₅ 'den gerçekleştirilen sıçramalarda 0.67, DJ₄₀ 'dan gerçekleştirilen sıçramalarda 0.83 değerlerinin elde edildiği gözlemlenmiştir ve DJ₄₀ 'dan daha büyük olan sıçrama yüksekliklerinde θ_{ayakb} (°) verilerinin – değerler aldığı gözlemlenmiştir.

6.2. Öneriler

Gelecek çalışmalarda daha büyük örneklem grubu ile çalışmak optimum DJ düşme yüksekliğini belirlemede daha etkin rol oynayabilir. Sıçrama performanslarının kuvvet platformu ile birlikte yapılarak kuvvet etkisinin belirlenmesi, performansın değerlendirilmesinde daha net sonuçlar verecektir. Farklı düşme yüksekliklerinde tendon özelliklerinin ultrason ile incelenmesi performans üzerinde etkisinin belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar verecektir.



KAYNAKLAR

1. Atan T, Taşmektepligil MY, Ağaoğlu SA, Kabadayı M, Bostancı Ö, İmamoğlu O. (2011) Drop Sıçramada Optimal Platform Yüksekliğinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dergisi, 2011; 13 (2): 160–165.
2. Arampatzis, A, Schade, F, and Walsh, M, And Bruggemann G. (2001) Influence of Leg Stiffness and Its Effect on Myodynamic Jumping Performance. J Electromyogr Kinesiol 11: 355–364.
3. Bompa, T. O. (2003). Dönemleme Antrenman Kuramı ve Yöntemi (Çeviri: Tüzemen, E.). Bağırhan Yayınmevi Sporsal Soy Yapıtlar Dizisi 1 Ankara: 2.Baskı.
4. Bompa, T.O. (2001). Üst Düzeyde Çabuk Kuvvet Gelişimi İçin Pliometrik. Bağırhan Yayınmevi, Ankara.
5. Campillo RR, Alvarez C, Pinillos FC, Gentil P, Moran J, Pereira LA, Loturco I. (2019) Effects of Plyometric Training on Physical Performance of Young Male Soccer Players: Potential Effects of Different Drop Jump Heights. Pediatric Exercise Science (Ahead of Print) Human Kinetics, Doi: 10.1123/Pes.2018-0207.
6. Carmont MR, Silbernagel KG, Mathy A, Mulji Y, Karlsson J, Maffulli N. (2013). Reliability of Achilles Tendon Resting Angle and Calf Circumference Measurement Techniques. Foot and Ankle Surgery 19 (2013) 246. Doi: 10.1016/J.Fas.2013.06.007.
7. Costley L, Wallace E, Johnston M, Kennedy R. (2018), Reliability of Bounce Drop Jump Parameters Within Elite Male Rugby Players. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 58, Doi : 10.23736/S0022-4707.17.07400-X.
8. Çoban O, Kompleks Antrenman Potansiyasyonunun Reaktif Kuvvet İndeksi Parametreleri Üzerine Etkisi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Bilimleri ve Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019, 4-7-8-9-32.
9. Dündar U. (1996) Antrenman Teorisi. Kültür Ofset. Ankara: 3. Baskı. 16-19.
10. Ebben WP, Petushek EJ. (2010) Using The Reactive Strength Index Modified to Evaluate Plyometric Performance. Journal of Strength and Conditioning Research, 24(8)/1983–1987.

11. Farley, CT, Houdijk, HHP, Van Strien, C, And Louie, M. (1998) Mechanism of Leg Stiffness Adjustment for Hopping on Surfaces of Different Stiffnesses. *J Appl Physiol* 85: 1044–1055.
12. Flanagan EP, Ebben WP, Jensen RL. (2008) Reliability of The Reactive Strength Index And Time to Stabilization During Depth Jumps, *Journal of Strength And Conditioning Research*, 22 (5) 1677-1682.
13. Flanagan EP, Comyns TM. (2008) The Use of Contact Time and The Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch Shortening Cycle Training. *Strength Cond J*, 30: 32-38; Doi: 10.1519/SSC.0b013e318187e25b.
14. Foure A, Nordez A, Mcnair P, Cornu C. (2011) Effects of Plyometric Training on Both Active and Passive Parts of The Plantarflexors Series Elastic Component Stiffness of Muscle–Tendon Complex. *Eur J Appl Physiol*, 111:539–548, Doi: 10.1007/S00421-010-1667-4.
15. Hansen CE, Stensvig M, Wienecke J, Villa C, Lorentzen J, Rasmussen J, Simonsen EB. (2021) Factors Correlated With Running Economy Among Elite Middle and Long Distance Runners. *Physiological Reports*. ;9:E15076. 1-15, Doi: 10.14814/Phy2.15076.
16. Jensen, RL and Ebben, WP. (2007) Quantifying Plyometric Intensity Via Rate of Force Development, Knee Joint, and Ground Reaction Forces. *J Strength Cond Res* 21: 763–767.
17. Kankal M. B., 9-12 Yaş Grubu Aerobik Cimnastik ve Ritmik Cimnastik Sporcularının Fiziksel, Fizyolojik ve Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008, 37-38-39-40.
18. Karabıyık A, Kompleks Kuvvet Antrenmanının Genç Futbolcuların Anaerobik Güç Performansları Üzerine Etkisi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018, 11.
19. Kipp K, Kiely MT, Giordanelli MD, Malloy PJ, Geiser CF. (2017) The Reactive Strength Index Reflects Vertical Stiffness During Drop Jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, (3) 13(1), 44-49, Doi: 10.1123/İjspp.2017-0021.

20. Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1801-1810.
21. Kubo K, Ikebukuro T, Yata H. (2021) Effects of Plyometric Training on Muscle–Tendon Mechanical Properties and Behavior of Fascicles During Jumping. *Physiological Reports*, 1-14, Doi: 10.14814/Phy2.15073.
22. Kawaguchi K, Taketomi S, Mizutani Y, Uchiyama E, Ikedami Y, Tanaka S, Haga N, Nakamura Y. (2021) Sex-Based Differences in The Drop Vertical Jump as Revealed By Video Motion Capture Analysis Using Artificial Intelligence, *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*; 9(11) Doi: 10.1177/23259671211048188.
23. Lacono AD, Martone D, Milic M., Padulo J. (2016) Vertical vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players. *Journal of Strength And Conditioning Research*, 31(4)/921–931.
24. Laffaye G, Choukou MA, Benguigui N, Padulo J. (2016) Age and Gender-Related Development of Stretch Shortening Cycle During A Sub-Maximal Hopping Task, *Biol. Sport*, 33:29-35; Doi: 10.5604/20831862.1180169.
25. Laurent C, Baudry S, Duchateau J. (2020) Comparison of Plyometric Training With Two Different Jumping Techniques on Achilles Tendon Properties and Jump Performances, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(6)/1503–1510.
26. Lees A, Fahmi E. Optimal Drop Heights for Plyometric Training. *Ergonomics*, 1994; 37:141–148.
27. Lesinski, M., Prieske, O., Beurskens, R., Behm, D., & Granacher, U. (2018). Effects of Drop-Height and Surface Instability on Jump Performance And Knee Kinematics. *International Journal of Sports Medicine*, 40(01), 50-57.
28. Markwick WJ, Bird SP, Tufano JJ, Seitz. LB, Haff GG. (2015) The Intraday Reliability of The Reactive Strength Index Calculated From A Drop Jump in Professional Men’s Basketball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 482 -488, Doi:/10.1123/ijsp.2014-0265.
29. McNitt-Gray, JL. Kinematics And Impulse Characteristics of Drop Landings From Three Heights. *Int. J. Sport Biomech* 7: 201–224, 1991.

30. Nicol C, Avela J, Komi Pv. (2006) The Stretch-Shortening Cycle A Model To Study Naturally Occurring Neuromuscular Fatigue, *Sports Med.*, 36 (11) 977-999.
31. Özdoğan E, Ada M, Bilge MÜ, Aktop A, Göcmen R. (2018). Effect of Dynamic Lower Extremity Performance on Karate Roundhouse Kick in Children, *International Conference on Sport, Education And Psychology*, Doi:10.15405/Epsbs.2018.06.02.16.
32. Özer, K. (1989) Artistik Cimnastik Antrenmanının Temelleri. GSGM Spor Eğitim Dairesi Başkanlığı Yayınları Yayın No 91. Ankara.
33. Özer K. Antropometri, Sporda Morfolojik Planlama. Kazancı Matbaacılık, 39-61. İstanbul,1993.
34. Peng, H. T. (2011). Changes In Biomechanical Properties During Drop Jumps of Incremental Height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2510-2518.
35. Peng HT, Chen-Yi Song CY, Wallace BJ, Kernozek TW, Wang MH, Wang YH. (2019) Effects of Relative Drop Heights of Drop Jump Biomechanics in Male Volleyball Players, *J Sports Med*, Doi:10.1055/A-0969-8623.
36. Peng HT, Khuat CT, Kernozek TW, Wallace BJ, Lo SL, Song CY. (2017) Optimum Drop Jump Height in Division I Athletes: Under 75 % of Vertical Jump Height, *J Sports Med*, Doi: /10.1055/S-0043-114011.
37. Prieske O, Chaabene H, Puta C, David G. Behm DG, Büsch D, Granacher U. (2018). Effects of Drop-Height on Jump Performance in Male and Female Elite Adolescent Handball Players, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 674-680, Doi:10.1123/Ijspp.2018-0482..
38. Ramirez-Delacruz M, Bravo-Sanchez A, Esteban-Garcia P, Jimenez F, Vicen JA. (2022) Effects of Plyometric Training on Lower Body Muscle Architecture, Tendon Structure, Stiffness and Physical Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine – Open*, 8:40 Doi: 10.1186/S40798-022-00431-0.
39. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Villarreal ES, Morin JB. (2016) A Simple Method For Measuring Power, Force, Velocity Properties and Mechanical Effectiveness in Sprint Running. *Scand J Med Sci Sports* 26: 648–658, Doi: 10.1111/Sms.12490.

40. Sousa, F, Ishikawa, M, Vilas-Boas, JP, And Komi, PV. (2007) Intensity and Muscle-Specific Fascicle Behavior During Human Drop Jumps. *J Appl Physiol* 102: 382–389.
41. Sönmez S, Çabukluk ve Süratte Devamlılık Çalışmalarının Karate Sporunda Performansa Etkileri, Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
42. Struzik A, Juras G, Pietraszewski B, Rokita A. (2016) Effect of Drop Jump Technique on The Reactive Strength Index. *Journal of Human Kinetics*, 52 (158), Doi: 10.1515/Hukin-0003.
43. Tomasevicz, CL, Hasenkamp R, Ransone JW, Jones D. (2020) Optimal Depth Jump Height Quantified As Percentage of Athlete Stature. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15(3), 682-691. Doi: 10.14198/Jhse.153.17.
44. [Http://Www.Cvasps.Com/Wp-Content/Uploads/2012/10/Jump-Training-101-Dr.-Natalia-Verkhoshansky.Pdf](http://www.cvasps.com/wp-content/uploads/2012/10/Jump-Training-101-Dr.-Natalia-Verkhoshansky.Pdf) (15/12/2020) (15:51).
45. Van Ingen Schenau, GJ, Bobbert, MF, And Haan, A. (1997) Mechanics and Energetics of The Stretch-Shortening Cycle: A Stimulating Discussion. *J App Biomech* 13: 484–496.