



Elit Erkek Atletlerde Dikey Sertlik ve Reaktif Kuvvet İndeksi ile Çeviklik İlişkisi*

Esmanur ALKAÇ¹, Alper AŞÇI², Benil KISTAK ALTAN³

¹Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/Türkiye

<https://orcid.org/0009-0004-4704-1667>

²Haliç Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, İstanbul/Türkiye

<https://orcid.org/0000-0003-3958-8908>

³Haliç Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, İstanbul/Türkiye

<https://orcid.org/0000-0002-5868-6856>

DOI: 10.70007/yalovaspor.1654144

ORJINAL MAKALE

Özet

Araştırmanın amacı elit atletlerde dikey sertlik ve reaktif kuvvet indeksi ile çeviklik ilişkisinin incelenmesidir. Araştırmaya 10 erkek elit atlet (atlama, sprint, atma) gönüllü olarak katılmıştır (Xyaş=23,87±2,23yıl; Xboy=1,85±0,10m; Xvücut ağırlığı=80,76±16,41kg). Sporculara sırasıyla fiziksel ölçümleri, iki farklı kasa yüksekliğinde (27cm-42cm) yapılan üç farklı derinlik sıçrama ölçümleri (çift, baskın ve baskın olmayan bacak) ve pro-agility çeviklik testi uygulatılmıştır. Sporcuların sağ-sol tarafına toplamda 58 anatomik noktasına işaretleyiciler yerleştirilmiştir. Derinlik sıçrama hareketi, Qualisys Track Manager 2020.3 (QTM) sistemine ait yedi tane Oqus 7+ kamera ile 500 kare/sn hızında kayıt altına alınmıştır. QTM ile senkron edilen kuvvet platformu, sıçrama kutusunun ön tarafına yerleştirilmiştir. Çeviklik performans süresi Fusion Sports Smartspeed™ PRO fotosel ile ölçülmüştür. Tüm atlayışların vücut segmentlerinin bireysel modelleri Visual 3D'de oluşturulmuştur. Pelvis Coda modeli kullanılarak tanımlanmıştır. Dikey sertlik (k_{dikey}) yükleme aşaması sırasında en yüksek dikey yer reaksiyon kuvvetinin (YRK_v) kütle merkezinin dikey yer değiştirmesine (ΔKM_v) bölünmesiyle hesaplanmıştır. Sporcuların reaktif kuvvet indeksi sıçrama yüksekliği(m)/yerde kalma süresi(sn) formülüyle hesaplanmıştır. Dikey sertliği ve reaktif kuvvet indeksi ile çeviklik ilişkisi JASP 0.19.3 programında Pearson korelasyonu ile analiz edilmiştir. Her iki kasa yüksekliğinde çift bacak derinlik sıçrama hareketinde dikey sertlik (28,62±17,16kN/m ve 26,33±12,86kN/m), sıçrama yüksekliği (0,33±0,07m ve 0,32±0,09m), reaktif kuvvet indeksi (1,35±0,53m/sn ve 1,20±0,48m/sn) tek bacak derinlik sıçrama hareketine göre daha yüksek tespit edilmiştir. Sporcuların ortalama çeviklik süreleri 5,53±0,26sn bulunmuştur. Sporcuların çeviklik performansı ile çift bacak derinlik sıçrama reaktif kuvvet indeksi arasında istatistiksel olarak negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($r=-0,671$; $p=0,034$). Sonuç olarak, sporcuların çift bacak derinlik sıçrama hareketindeki reaktif kuvvet indeksi yüksek ise çeviklik performans süresi daha azdır.

Anahtar kelimeler: Dikey Sertlik, Çeviklik, Reaktif Kuvvet İndeksi, Derinlik Sıçraması

Relationship Between Vertical Stiffness and Reactive Strength Index and Agility in Elite Male Athletes

Abstract

The aim of the study is to examine the relationship between vertical stiffness and reactive force index and agility in elite athletes. Ten male elite athletes (jumping, sprinting, throwing) voluntarily participated in the study ($X_{age}=23.87\pm2.23$ years; $X_{height}=1.85\pm0.10$ m; $X_{body\ weight}=80.76\pm16.41$ kg). The athletes underwent physical measurements, three different depth jump measurements (double, dominant, and non-dominant leg) at two different box heights (27 cm and 42 cm), and the Pro-Agility agility test. Markers were placed on a total of 58 anatomical points on the right and left sides of the athletes. The depth jump movement was recorded at 500 frames per second using seven Oqus 7+ cameras from the Qualisys Track Manager 2020.3 (QTM) system. The force platform synchronised with QTM was placed at the front of the jump box. Agility performance time was measured using the Fusion Sports Smartspeed™ PRO photocell. Individual models of the body segments for all jumps were created in Visual 3D. The pelvis was defined using the Coda model. Vertical stiffness (kdikey) was calculated by dividing the maximum vertical ground reaction force (YRKv) during the loading phase by the vertical displacement of the centre of mass ($\Delta K M v$). The reactive force index of the athletes was calculated using the formula jump height (m)/ground contact time (s). The relationship between vertical stiffness and reactive force index and agility was analysed using Pearson correlation in JASP 0.19.3. In the double-leg depth jump movement at both box heights, vertical stiffness (28.62 ± 17.16 kN/m and 26.33 ± 12.86 kN/m), jump height (0.33 ± 0.07 m and 0.32 ± 0.09 m), and reactive force index (1.35 ± 0.53 m/s and 1.20 ± 0.48 m/s) were found to be higher than those in the single-leg depth jump movement. The average agility times of the athletes were found to be 5.53 ± 0.26 s. A statistically significant negative correlation was found between the athletes' agility performance and the reactive force index of the double-leg depth jump ($r = -0.671$; $p = 0.034$). In conclusion, if the reactive force index in the double-leg depth jump movement is high, the agility performance time is shorter.

Keywords: Vertical Stiffness, Agility, Reactive Force Index, Depth Jump

* Bu çalışma birinci yazarın “Elit Atletlerde Bacak Sertliği ve Çeviklik İlişkisi” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir (İstanbul, Haliç Üniversitesi, 2025).

Giriş

Atletizm; sprint, engelli koşu, atlama, atma, orta ve uzun mesafe koşuları, yarış yürüyüşü gibi birçok farklı disiplinden oluşan olimpik bir spor dalıdır (Edouard vd., 2024). Yarışmalarda sporcular aynı sonucu elde etmesine rağmen teknik açıdan farklılık gösteren birçok faktör bulunmaktadır. Bu spor dalında zamansal olarak bir saniye hatta bir salise (atlama ve atma yarışlarında santimetre) rekoru kırmada veya yarışı kazanıp kaybetmede önemli rol oynar (Sharma ve Subramanian, 2014).

Yarışma içinde atletler birden çok kez sıçrar. Birden fazla yüksek yoğunluklu kısa süreli sprint yaparlar, durup sonrasında yön değiştirirler ve tüm bu hareketler bir alt ekstremitelerin yüksek düzeyde reaktif gücü ve kuvvet üretme yeteneğine bağlıdır. Bu yüzden yüksek atletik performans yeterli düzeyde alt ekstremita gücü gerektirir (Wang vd., 2021). Bu potansiyelin açığa çıkması için yüksek düzeyde motor beceri, esneklik, güç, dayanıklılık, koordinasyon, çeviklik, denge özellikleri geliştirilmelidir (Deprez vd., 2015). Kişiyeye özgü bu faktörler birbiriyle bağlantılı olduğundan etkili bir kassal kuvvetin ortaya çıkabilmesi ve doğru kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için doğru biyomekanik hizalanmayla birlikte ilgili kasın optimum uzayıp kısılabilmesi, yani kasın viskoelastik özelliklerinin ideal düzeyde olması gereklidir (Struzik vd., 2021). Gerilme-kısalma döngüsü, kasların eksantrik kasılmalarını takiben konsantrik kasılmaların döngüsel olarak tekrarlandığı bir hareket düzenidir. Bu döngü sırasında eksantrik kasılmalar, konsantrik kasılma esnasında üretilen kas kuvvetini artırarak fizyolojik bir avantaj sağlar (Karakaş, 2020).

Dikey sertlik, temas sırasında kütle merkezinin dikey hareketini tanımlamak için kullanılır. Dikey sertlik; kütle merkezinin en düşük noktasına, yani duruş fazının ortasına ulaştığında, maksimum kuvvetin dikey yer değiştirmesi oranı olarak tanımlanır (Aktaş Sevindik, 2023). Sertlik, insan vücudu segmentlerinin yer reaksiyon kuvveti veya momentleri uygulandığında yer değiştirmeye karşı koyabilme yeteneğini açıklar (İnce, 2020). Reaktif kuvvet, eksantrik fazdan konsantrik faza hızlı bir geçiş yapabilme kabiliyetidir (Özbay vd., 2018). Reaktif kuvvet indeksi (RKİ), derinlik sıçraması sırasında ölçülen sıçrama yüksekliğinin, yere temas süresine oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (İnce, 2020). RKİ ve dikey sertlik ilişkisi zemin reaksiyon kuvvetleri veya momentleri uygulandıktan sonra tendonlar, bağlar, kaslar, kıkırdak ve kemik gibi anatomik yapıların değişime karşı direnç göstermesi gerekliliği ile açıklanır (Hayes ve Caplan, 2014; Maloney ve Fletcher, 2018). Bu da çeviklikle doğrudan ilişkilidir (Özbay vd., 2018). Dolayısıyla özellikle sıçrama becerisi ile çeviklik arasındaki ilişki çok sayıda araştırmacı

tarafından incelenmiştir. Çalışmalarda sıçrama ve çeviklik becerilerinin oldukça ilişkili olduğu belirtilmektedir (Hazır vd., 2010; Sassi vd., 2009). Ayrıca çeviklik antrenmanlarının sıçrama performansına, sıçrama antrenmanlarının çeviklik performansına olumlu yönde etkisinin olduğu görülmektedir (Mercer, 2021).

Performans büyük ölçüde koşma, atlama ve yön değiştirme içeren spor dallarında alt ekstremite sertliğine ve çevikliğine bağlıdır (Sporri vd., 2018). Daha yüksek sertlik, sporcular için atletik performansa faydalı görünmektedir. Bu nedenle, sertliğin atletik performansa katkısını göz önünde bulundurmak için performansı etkileyen diğer parametrelerle ne düzeyde etkilenip etkilenmediğine bakılmalıdır (Kalkhoven ve Watsford, 2018). Bu parametrelerden biri olan çeviklik, dikey sertlikten ne kadar etkilenip etkilenmediği belirsizliğini korumaktadır.

Yapılan çalışmalara bakıldığında kadın futbolcularda derinlik sıçramaları ile yön değiştirme performansları arasında anlamlı bir ilişki bulunamazken (Turgut, 2019); yine futbolcularla yapılan başka bir araştırma alt vücut sertliği ölçümü ile fiziksel performans değişkenleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada dikey sertlik ile sprint, çeviklik, dikey sıçrama ve kuvvet arasında anlamlı ilişki tespit edilmiştir (Kalkhoven ve Watsford, 2018). Araştırmalar sonucunda dikey sertliğin yüksek performansta önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Arampatzis vd., 2001).

Yer temas süresinin en aza indirgenmesi sonucunda daha fazla kuvvet üretiminin olduğu bilindiği üzere yer temas süresi ile sprint hız arasında negatif ilişki olduğu bildirilmiştir (Nummela vd., 2007). Atlayıcı ve atıcı sporcuların RKİ değerleri incelendiğinde tenis, futbol, dayanıklılık koşusu, hokey ve ragbi gibi diğer spor disiplinlerine kıyasla orta ila çok büyük etki büyüklükleriyle (0,73 ile 3,98) önemli ölçüde daha yüksek RKİ skorlarına sahip olduğu bildirilmiştir. Sprint ve güç atletlerinin RKİ skorları 2,19-2,98 arasında değişirken, diğer spor dallarında ise 0,84-2,71 arasındadır (Southey vd., 2024). Bu çalışmanın amacı elit atletlerde dikey sertlik ve reaktif kuvvet indeksi ile çeviklik arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

Çalışma Grubu

Araştırmaya spor yaralanma geçmişi olmayan, İstanbul ilinde ikamet eden, çalışmanın yapıldığı sezonda sporcu lisans belgesine sahip olan ve en az 5 yıl profesyonel spor yaşantısı olan atletler dahil edilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. Sporcuların tanımlayıcı özelliklerinin ortalama ve standart sapma değerleri

	$\bar{x} \pm Ss$
Yaş (yıl)	23,86 $\pm$ 2,23
Boy uzunluğu (m)	1,84 $\pm$ 0,09
Vücut ağırlığı (kg)	80,76 $\pm$ 16,41
Vücut kütle indeksi (kg/m²)	23,48 $\pm$ 2,82

Veri Toplama Araçları

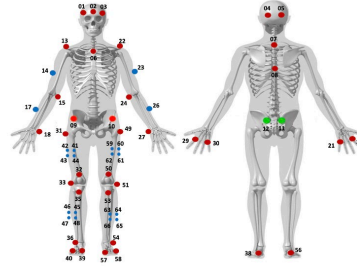
Çalışmanın ölçümleri Haliç Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Biyomekanik Laboratuvarında ve spor salonunda gerçekleştirilmiştir. Sporcular laboratuvara randevu olarak gelmiştir ve günde iki kişinin ölçümü yapılmıştır. Tüm sporculara ölçümlerden önce çalışma hakkında bilgi verilmiştir. Sporculardan yazılı ve sözlü izin alınmıştır. Sporcuların yaşı, baskın tarafı ve atletizm branşı yazılmıştır. Sporculara standart ısınmalarını gerçekleştirmeleri için yaklaşık olarak 15-20 dakika süre verilmiştir. Bu ısınma esnasında sporcunun derinlik sıçrama hareketini denemesi istenmiştir.

İlk olarak, sporcuların boy uzunluğu, vücut dik pozisyonda ve çıplak ayakla duvara sabitlenmiş ± 1 mm hassasiyetli yatay bir stadiometre ile ölçülmüştür. Vücut ağırlığı, vücut dik pozisyonda ve çıplak ayakla $\pm 0,1$ kg hassasiyetle elektronik bir tartı ile ölçülmüştür. Sporcuların vücut kütle indeksi (kg/m²) boy uzunluğu ve vücut ağırlığı verileri ile hesaplanmıştır (Özer, 2020).

Derinlik Sıçraması

Fiziksel özellikler belirlendikten sonra sporcuların sağ-sol tarafına toplamda 58 anatomik noktaya işaretleyiciler yerleştirilmiştir (Şekil 1.). Bu çalışmada sporcuların her birinin değerlendirmeye alınan sağ veya sol vücut üyeleri üzerindeki anatomik noktalarına, yansıtıcı özelliğine sahip olan 12,5 mm çapındaki yüksek kaliteli küresel işaretçiler sporcuların hareketlerinde kısıtlamayacak şekilde çift taraflı bant yardımıyla yapıştırılmıştır. İşaretleyicilerin doğru anatomik noktaya yapıştırılabilmeleri ve sabitlenebilmesi için sporcular tayt ve dar kıyafetler ile ölçüme alınmıştır. Yapıştırılan işaretleyicileri kontrol edebilmek için sıçrama ve koşu denemeleri yapılmıştır. Böylece sporcuların işaretleyicilere uyum sağlaması ve gerçek performanslarını sergileyebilmeleri sağlanmıştır. Sporcular baskın bacak, baskın olmayan bacak ve çift bacak ile iki farklı kasa yüksekliğinden (27 cm ve 42 cm) derinlik sıçrama hareketini bir tekrarda gerçekleştirmiştir (Ma, 2021). Sporculara elleri belde olacak şekilde düşüp hızlı bir şekilde sıçramaları istenmiştir. Sıçramalar arasında sporculara 5 dakika

dinlenme süresi verilmiştir. Sporcuların derinlik sıçrama hareketini uygulama şekli (baskın bacak, baskın olmayan bacak ve çift bacak) randomize belirlenmiştir.



Şekil 1. QTM'de insan modellemesi

Derinlik sıçrama hareketi, Qualisys Track Manager 2020.3 (QTM) sistemine ait yedi tane Oqus 7+ kamera ile 500 kare/s hızında kayıt altına alınmıştır. Sistemin kalibrasyonu ve eksen belirlenmesi T ve L çubuğu ile yapılmıştır. Ortam kalibrasyonu için 45 saniye boyunca taranmıştır. Üç ekseninde yedi kameraya ait kalibrasyon değerleri 0,50'nin altında bulunmuştur. Hareket yakalama sistemi ile eş zamanlı çalışan 500 Hz 0,40m x 0,60m x 0,10m ebatındaki kuvvet platformu (Bertec, FP4060-10, Columbus, ABD) sıçrama kutusunun ön tarafına yerleştirilmiştir. Kuvvet ve görsel veriler 32-ch USB Arayüz Senkronizasyon Ünitesi (Qualisys, İsveç) kullanılarak senkronize edilmiştir.

Çeviklik

Hareket yakalama ölçümleri bitiminde sporculara 15 dakika dinlenme süresi verilmiştir. Tam dinlendikten sonra çeviklik testine geçilmiştir. Sporcuların çeviklik becerisi Pro-agility testi ile belirlenmiştir. Çeviklik performans süresi Fusionsports Smartspeed™ PRO fotosel (Fusion Sport, Queensland, Australia) ile ölçülmüştür. Pro-agility testi için birbirilerine paralel olan, aralarında 5m mesafe bulunan üç çizgi belirlenmiştir. Sporcular orta çizgide ayakları çizginin sağına ve soluna gelecek şekilde başlangıç pozisyonunda beklemiştir. Testin başlaması ile sporcu hızlı bir şekilde sağ tarafındaki 5 metrelik mesafeyi, ayağı çizgiye değdikten sonra hemen dönüp diğer taraftaki çizgiye ve oradan da başlangıç çizgisinden geçerek testi bitirmiştir. Test için tek bir fotosel kapısı kullanılmıştır. Bu fotosel kapısı hem testin başlatılmasını hem de sonlanmasını gerçekleştirmiştir. Sporcuların çeviklik süreleri otomatik olarak kaydedilmiştir. Çeviklik testi iki kez tekrar edilmiştir. Sporcuların en iyi süresi değerlendirmeye alınmış ve Microsoft Excel sürüm 16.84'e aktarılmıştır. Sporcular iki deneme arasında 5 dakika dinlenmiştir.

Tüm sporcuların derinlik sıçrama hareketine ait görüntüleri ve pro-agility çeviklik testi ölçümleri bittikten sonra araştırmada veri işleme bölümüne geçilmiştir. Kaydedilen görüntüler üç boyutlu analiz için bilgisayar programında hazırlanmıştır. QTM tarafından kaydedilen 58 dinamik işaretleyicinin hareket verileri, yüksek frekanslı gürültüyü ortadan kaldırmak için kesme frekansı 6 Hz olan Butterworth alçak geçiren filtre kullanılarak ayrı ayrı filtrelenmiştir (Crenna vd., 2021). İlk temas, kalkış ve ikinci temastan oluşan anlar dikey yer reaksiyon kuvvetine göre işaretlenmiştir. Ağırlık merkezinin hesaplanmasında yer reaksiyon kuvveti, anlar ve anatomik noktaların konumları QTM'deki tüm veriler Visual 3D hareket analizi yazılımına aktarılmıştır. Tüm sıçramaların vücut segmentlerinin bireysel modelleri Visual 3D'de (C-Motion Inc., Germantown, MD) oluşturulmuştur. Pelvis Coda modeli kullanılarak tanımlanmıştır (Bell vd., 1989). Visual3D, her bir rijit vücut segmentinin (eller, alt kollar, üst kollar, baş, gövde, pelvis, uyluklar ve bacaklar) parametrelerine ve konumlarına ve sporcuların boy ve kilo dahil antropometrik verileri kullanılarak derinlik sıçraması boyunca sporcunun ağırlık merkezi ve kalça eklem merkezini tahmin etmiştir. Bireysel modeller tarafından hesaplanan ağırlık merkezi ve referans noktalarının (kalça merkezi, sakrum) pozisyon verileri Microsoft Excel sürüm 16.84'e aktarılmıştır.

Dikey Sertlik

Çalışmada dikey sertlik değerlerini kN/m olarak hesaplamak için bir yay-kütle modeli kullanılmıştır (Fox vd., 2022). Dikey sertlik (k_{dikey}) yükleme aşaması sırasında en yüksek dikey yer reaksiyon kuvvetinin (YRK_v) kütle merkezinin dikey yer değiştirmesine (ΔKM_v) bölünmesiyle hesaplanır. Yükleme aşaması, ilk temas ile en yüksek yer reaksiyon kuvveti zaman indeksi arasında tanımlanmıştır. İlk temas, dikey yer reaksiyon kuvvetinin 10 N'u aştığı ilk nokta olarak tanımlanmıştır. Dikey sertliği ve kütle merkezinin dikey yer değiştirme denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$k_{dikey} = \frac{YRK_v}{\Delta KM_v}, \Delta KM_v = |KM_f - KM_0|$$

Burada KM_0 , ilk temasta KM 'nin dikey konumunu ve KM_f , YRK_v zirvesinde KM 'nin üç boyutlu koordinat sistemindeki dikey konumunu göstermektedir. KM_0 ve KM_f Visual kullanılarak hesaplanmıştır.

Reaktif Kuvvet İndeksi (RKİ)

Sporcuların reaktif kuvvet indeksi sıçrama yüksekliği (m) / yerde kalma süresi (sn) formülüyle hesaplanmıştır (Flanagan ve Comyns, 2008).

Verilerin Analizi

Araştırmanın verileri JASP 0.19.3 programına aktarılmıştır. Verilerin normal dağılım göstermesi Shapiro-Wilk değerleri ile kontrol edilmiştir. Shapiro-Wilk değerleri $p>0,05$ 'ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Dikey sertliği ve reaktif kuvvet indeksi ile çeviklik ilişkisi Pearson korelasyonu ile analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p<0,05$ kabul edilmiştir.

Araştırmanın Etiği

Çalışmanın uygulanabilmesi için Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (27.02.2024-40). Mevcut araştırma süresince “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” çerçevesinde hareket edilmiştir.

Bulgular

Tablo 2. Sporcuların dikey sertlik, sıçrama yüksekliği, RKİ ve çeviklik performansının ortalama (X) ve standart sapma (SS) değerleri

	KY1 (27 cm)	KY 2 (42 cm)
ÇB dikey sertlik (kN/m)	28,62±17,16	26,33±12,86
ÇB sıçrama yüksekliği (m)	0,32±0,07	0,31±0,08
ÇB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	1,34±0,53	1,20±0,42
BB dikey sertlik (kN/m)	24,71±12,12	22,88±8,24
BB sıçrama yüksekliği (m)	0,14±0,06	0,15±0,06
BB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	0,50±0,27	0,55±0,26
BOB dikey sertlik (kN/m)	23,35±7,84	23,44±10,40
BOB sıçrama yüksekliği (m)	0,15±0,06	0,15±0,06
BOB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	0,57±0,28	0,52±0,22
Çeviklik testi (sn)	5,52±0,25	

ÇB: Çift bacak derinlik sıçraması; BB: Baskın bacak derinlik sıçraması; BOB: Baskın olmayan bacak derinlik sıçraması; KY: Kasa yüksekliği

Sporcuların dikey sertlik, sıçrama yüksekliği, RKİ ve çeviklik performansının ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 3. Sporcuların çeviklik ile dikey sertlik, sıçrama yüksekliği ve RKİ ilişkisi

	KY1 (27 cm)		KY 2 (42 cm)	
	Pearson's r	p	Pearson's r	p
ÇB dikey sertlik (kN/m)	-0,432	0,213	-0,524	0,120
ÇB sıçrama yüksekliği (m)	-0,437	0,207	-0,474	0,166
ÇB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	-0,562	0,091	-0,671*	0,034
BB dikey sertlik (kN/m)	-0,356	0,313	-0,468	0,172
BB sıçrama yüksekliği (m)	-0,342	0,334	-0,490	0,151
BB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	-0,345	0,329	-0,513	0,130
BOB dikey sertlik (kN/m)	-0,471	0,170	-0,547	0,102
BOB sıçrama yüksekliği (m)	-0,377	0,283	-0,406	0,244
BOB reaktif kuvvet indeksi (m/sn)	-0,552	0,098	-0,612	0,060

ÇB: Çift bacak derinlik sıçraması; BB: Baskın bacak derinlik sıçraması; BOB: Baskın olmayan bacak derinlik sıçraması; KY: Kasa yüksekliği; *p<0.05

Sporcuların çeviklik ile dikey sertlik, sıçrama yüksekliği ve reaktif kuvvet indeksinin ilişkisi Tablo 3.'te verilmiştir. Bu tabloya göre sporcuların çeviklik performansı ile çift bacak derinlik sıçrama reaktif kuvvet indeksi arasında istatistiksel olarak negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($r=-0,671$; $p=0,034$). Diğer parametreler ile çeviklik performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tartışma ve Sonuç

Çeviklik, farklı spor disiplinlerinde kritik bir motor yetenek olarak kabul edilir ve çeşitli testlerle ölçülebilir. Her ne kadar farklı spor dallarında çevikliği belirleyen hareket yapıları değişse de temel mekanizmalar benzerdir. Başlatma, durdurma, yön değiştirme ve yeniden başlatma gibi unsurlar, hareketin uygulanmasını ve yönünü belirler. Bu hareketler temelde aynı prensiplere dayanır, ancak zaman-mekân konfigürasyonları spora göre farklılık gösterir. (Mackala vd., 2020) Örneğin, bir judoda rakibine saldırmak için hızlı ve dinamik bir şekilde bir veya iki küçük adım atarak atış pozisyonuna ulaşırken, bir tenisçi gelen topa yetişmek için 4-5 adıma, bir futbolcu ise bir veya birden fazla adıma ihtiyaç duyar. Bu bağlamda, çevikliği motor yetenek olarak tanımlayan farklı hareket yapıları olmasına rağmen, çeşitli spor disiplinleri aynı testle çeviklik düzeyi açısından değerlendirilebilir.

Çeviklik çoğunlukla dış etkenlere, yani topun, rakibin veya takım arkadaşının hareketlerine tepki olarak gerçekleşir. Genellikle bu ivmelenmeler, oyuncunun hareket yönünü değiştirmesiyle başlar. Bu bağlamda, temel yetkinliklerinden biri olarak kabul edilen bu beceri, çeviklikle bağlantılı olup reaktif kuvvetin bir göstergesidir (Kayhan vd., 2021).

Elit erkek atletlerde dikey sertlik, sıçrama yüksekliği ve reaktif kuvvet indeksinin çeviklik ile ilişkisini inceleyen bu araştırmada çeviklik performansı ile çift bacak derinlik sıçrama reaktif kuvvet indeksi arasında istatistiksel olarak negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilirken ($r=-0,671$; $p=0,034$) diğer parametreler ile çeviklik performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu durum, RKİ'nin artmasıyla birlikte çeviklik performansının azalabileceğini göstermektedir. Yüksek kuvvet seviyeleri olan sporcuların, ani yön değişiklikleri ve hız gerektiren hareketlerde daha fazla zorluk yaşayabileceği düşünülebilir.

Alan yazında bu konuyu irdeleyen çalışmalarda çoğunlukla RKİ ile çeviklik arasında anlamlı ilişki tespit edildiğine rastlanmıştır. Örneğin genç voleybolcularda RKİ ile T testi arasında anlamlı ilişki bulunmuştur (İnce, 2020). Bu çalışmayı destekler nitelikte genç tenis oyuncularıyla (Sert, 2016) ve futbolcularla (Matlák vd., 2016) yapılan araştırmalarda da reaktif kuvvet indeksi ile yön değiştirme arasında anlamlı ilişkiye rastlanmıştır. Buna ek olarak, U14 ve profesyonel futbol takımı oyuncularının dahil edildiği bir çalışmada da çeviklik ile RKİ arasında anlamlı ilişki tespit edilmiştir (Gisladottir vd., 2024). Benzer bir araştırmada genç futbolcuların reaktif kuvvet indeksi ve yön değiştirme performansları arasında ($r=0,619$; $p<0,05$) anlamlı ilişkiye rastlanmıştır. Bu bulgulara göre genç futbolcularda, reaktif kuvvet özelliği ile çeviklik arasında yüksek ilişki olduğunu göstermektedir (Kayhan vd., 2021).

Bu çalışmalarla paralellik göstermeyen Kahraman ve Özkan'ın yaptığı araştırmada genç erkek voleybolcularda RKİ ile çeviklik arasında anlamlı ilişki tespit edilmemiştir (Kahraman ve Özkan, 2023). Bu bulgular, takım sporlarında ve ani yön değişikliği gerektiren branşlarda çevikliğin performansı belirleyen temel faktör olduğunu gösterirken (Özbay vd., 2018), kuvvet gerektiren ve ani yön değişikliği gerektirmeyen spor dallarında farklı parametrelerin öne çıkabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak Krzysztof tarafından yürütülen başka bir çalışma, bireysel sporcuların takım sporcularına göre daha çevik olduğunu göstermiştir (Mackala vd., 2020). Farklı spor dallarında ve yaş gruplarında RKİ ile çeviklik arasındaki ilişkinin belirlemede net ve kuvvetli sonuçlara ulaşabilmek için çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, derinlik sıçrama hareketindeki dikey sertlik verileri, çift bacak derinlik sıçramada elde edilen ortalama değerlerin $28,62 \pm 17,16$ kN/m ile $26,33 \pm 12,86$ kN/m olduğunu ve sıçrama yüksekliklerinin ($0,32 \pm 0,07$ m ve $0,31 \pm 0,08$ m) kaydedildiğini göstermektedir. Bu değerler, sporcuların önemli bir kuvvet üretebildiğini ve genel dikey performansa katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Ancak çeviklik performansındaki eğilim, kuvvetin yanında bu kuvvetin çevik hareketlere dönüştürülme yeteneğinin de önemli olduğunu göstermektedir. Dikey sertlik ve sıçrama yüksekliği ile çeviklik performansı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($p > 0,05$) bunun sebebi ise, belirli kuvvet türlerinin ve hareket kalıplarının çeviklikle daha ilgili olduğunu gösterebilir.

Sonuç olarak, elit erkek atletlerin 42 cm yükseklikten yaptığı çift bacak derinlik sıçramasında reaktif kuvvet indeksi ile çeviklik performansı arasında negatif yönde ilişki tespit edilmiştir. Önceki araştırmalar ve mevcut çalışma bulguları göz önünde bulundurulduğunda, kuvvet antrenmanlarının yalnızca maksimal kuvveti artırmak yerine, çevikliğe yönelik fonksiyonel adaptasyonları destekleyecek şekilde planlanması gerektiği söylenebilir.

Etik Kurul İzin Bilgileri

Etik değerlendirme kurulu: Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Etik değerlendirme belgesinin tarihi: 27.02.2024

Etik değerlendirme belgesinin sayı numarası: 40

Araştırmacıların Katkı Oranları Beyanı

Araştırmanın yöntem ve bulgular kısmıyla ilgili süreçler üç yazar, giriş kısmı ile ilgili süreçler birinci ve ikinci yazar, tartışma ve sonuç kısmı ile ilgili süreçler ise üç yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çatışma Beyanı

Yazarların araştırma ile ilgili bir çatışma beyanı bulunmamaktadır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma birinci yazarın “Elit Atletlerde Bacak Sertliği ve Çeviklik İlişkisi” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir (İstanbul, Haliç Üniversitesi, 2025).

Kaynakça

- Aktaş Sevindik, B. (2023). Kayak branşı sporcularında bacak sertliği ve reaktif kuvvet indeksi farklılıklarının incelenmesi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 14(3), 391-400. <https://doi.org/10.17155/omuspd.1365016>
- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M., & Brüggemann, G. P. (2001). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11(5), 355–364. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(01\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00009-8)
- Bell, A. L., Brand, R. A., & Pedersen, D. R. (1989). Prediction of hip joint centre location from external landmarks. *Human Movement Science*, 8(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(89\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0167-9457(89)90020-1)
- Crenna, F., Rossi, G. B., & Berardengo, M. (2021). Filtering biomechanical signals in movement analysis. *Sensors*, 21(13), 4580. <https://doi.org/10.3390/s21134580>
- Deprez, D., Valente-Dos-Santos, J., Coelho, E. S. M. J., Lenoir, M., Philippaerts, R., & Vaeyens, R. (2015). Multilevel development models of explosive leg power in high-level soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(7), 1408-15. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000541>
- Edouard, P., Dandrieux, P. E., Iatropoulos, S., Blanco, D., Branco, P., & Guex, K. (2024). Injuries in athletics (track and field): A narrative review presenting the current problem of injuries. *Zeitschrift für Sportmedizin/German Journal of Sports Medicine*, 75(4), 132-141. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2024.601>
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Fox, M. C., Hsiao-Wecksler, E. T., & Polk, J. D. (2022). Effects of body mass on leg and vertical stiffness in running humans. *BioRxiv*, 2022. <https://doi.org/10.1101/2022.05.04.490639>
- Gisladdottir, T., Petrović, M., Sinković, F., & Novak, D. (2024). The relationship between agility, linear sprinting, and vertical jumping performance in U-14 and professional senior team sports players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6(April). <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1385721>
- Hayes, P. R., & Caplan, N. (2014). Leg stiffness decreases during a run to exhaustion at the speed at O₂max. *European Journal of Sport Science*, 14(6), 556-562. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.876102>
- Hazır, T., Mahir, Ö. F., & Açıkada, C. (2010). Genç futbolcularda çeviklik ile vücut kompozisyonu ve anaerobik güç arasındaki ilişki. *Spor Bilimleri Dergisi*, 21(4), 146-153.
- İnce, İ. (2020). 14-17 yaş grubu voleybolcularda reaktif kuvvet indeksi ve bacak sertliğinin bazı performans testleri ile ilişkisinin incelenmesi. *Germanica Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 1(1), 37-45.
- Kahraman, M. Z., & Özkan, Z. (2023). The relationship between reactive strength index and agility in young male volleyball and basketball players. *Yalova Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 2(1), 100-112.
- Kalkhoven, J. T., & Watsford, M. L. (2018). The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1022–1029. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1349921>
- Karakaş, Ç. S. (2020). *Farklı yaş gruplarıdaki futbolcu çocuklarda bacak sertliği ve koşu ekonomisinin incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı, Adana.
- Kayhan, R. F., Çıkıkcı, A., & Gülez, O. (2021). The effect of reactive strength index on some parameters of young football players. *Uluslararası Spor Egzersiz ve Antrenman Bilimi Dergisi*, 7(1), 31–39. <https://doi.org/10.18826/USEEABD.835723>
- Ma, Y. (2021). Kinematics study of depth jump on male triple jumpers with slope run-up. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 4867451. <https://doi.org/10.1155/2021/4867451>

- Mackala, K., Vodičar, J., Žvan, M., Križaj, J., Stodolka, J., Rauter, S., Šimenko, J., & Čoh, M. (2020). Evaluation of the pre-planned and non-planned agility performance: comparison between individual and team sports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030975>
- Maloney, S. J., & Fletcher, I. M. (2018). Lower limb stiffness testing in athletic performance: a critical review. *Sports Biomechanics*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1460395>
- Matlák, J., Tihanyi, J., & Rácz, L. (2016). Relationship between reactive agility and change of direction speed in amateur soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1547–1552. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001262>
- Mercer, M. (2021). *Improving the specificity of vertical stiffness measurement in depth jump landings*. Master of Science, Utah State University, Health and Human Movement, Logan, Utah.
- Nummela, A., Keränen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine*, 28(08), 655-661. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964896>
- Özbay, S., Ulupınar, S., & Özkara, A. B. (2018). Sporda çeviklik performansı. *Ulusal Spor Bilimleri Dergisi*, 2(2), 97–112. <https://doi.org/10.30769/usbd.463364>
- Özer, K. (2020). *Fiziksel uygunluk* (7. Baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Sassi, R. H., Dardouri, W., Yahmed, M. H., Gmada, N., Mahfoudhi, M. E., & Gharbi, Z. (2009). Relative and absolute reliability of a modified agility T-test and its relationship with vertical jump and straight sprint. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1644-1651. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b425d2>
- Sert, V. (2019). *Genç tenis oyuncularında bacak gücü ve katılığı: Sürat ve çeviklik performansı ile ilişkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya.
- Sharma, H. O., & Subramanian, R. (2014). Speed and agility as determinants of long jump performance. *Academic Sports Scholar*, 3(9), 49-52.
- Southey, B., Willshire, M., Connick, M. J., Austin, D., Spits, D., & Beckman, E. (2024). Reactive strength index as a key performance indicator in different athlete populations—a systematic review. *Science & Sports*, 39(2), 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.01.004>
- Sporri, D., Ditroilo, M., Pickering Rodriguez, E. C., Johnston, R. J., Sheehan, W. B., & Watsford, M. L. (2018). The effect of water-based plyometric training on vertical stiffness and athletic performance. *PLoS ONE*, 13(12), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208439>
- Struzik, A., Karamanidis, K., Lorimer, A., Keogh, J. W., & Gajewski, J. (2021). Application of leg, vertical, and joint stiffness in running performance: A literature overview. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2021(1), 9914278. <https://doi.org/10.1155/2021/9914278>
- Turgut, A. (2019). *Kadın futbolcularda baskın bacağın yön değiştirme performansına etkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya.
- Wang, I. L., Chen, Y. M., Zhang, K. K., Li, Y. G., Su, Y., Wu, C., & Ho, C. S. (2021). Influences of different drop height training on lower extremity kinematics and stiffness during repetitive drop jump. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2021(1), 5551199. <https://doi.org/10.1155/2021/5551199>



Bu makale Creative Commons Attribution 4.0 Uluslararası lisansı ile lisanslanmıştır.