

Düşük Maliyetle Geliştirilen Bir Kuvvet Platformunun Doğrulama Çalışması

The Validation Study of a Low-Cost Force Platform

Araştırma Makalesi / Research Article

İzzet İNCE

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Spor Bilimleri Fakültesi, ANKARA

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
Doç. Dr. İzzet İNCE
izzetince@aybu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received : 31.01.2024
Kabul Tarihi / Accepted : 21.06.2024
Yayın Tarihi / Published : 31.07.2024

Etik Bilgilendirme / Ethical Statement
Bu araştırma, AYBÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulunun 12/04/2023 tarih 03-03 sayılı kararı ile etik açıdan uygun bulunmuştur.

DOI: 10.53434/gbesbd.1428875

Öz

Bu çalışmada, donanımı ve yazılımı yazar tarafından geliştirilen bir kuvvet platformunun test-tekrar test güvenilirliği ve eş zamanlı ölçüm geçerliliği değerlendirilmiştir. Araştırmaya 17 katılımcı dahil edilmiş, her bir test için 60 veri analize alınmıştır. Güvenirlik için aktif sıçrama yüksekliği (AS), aktif sıçrama maksimal kuvvet (ASMK) ve izometrik orta uyluk çekiş (İOUÇ) testleri uygulanmıştır. Geçerlik için bir ticari kuvvet platformu kriter cihaz olarak kullanılmış ve 1000 Hz örnekleme hızıyla AS ile AS relatif kuvvet (ASRK) testleri uygulanmıştır. Güvenirlik analizleri sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC), varyasyon katsayısı (CV), ölçümlerin standart hatası (SEM) ve algılanabilir minimum değişim (MDC) üzerinden yapılmıştır. Geçerlik analizlerinde ise eşli örneklemler t-testi, Blant-Altman analizi ve regresyon analizleri kullanılmıştır. Güvenirlik analizlerinde, ICC değerleri yüksek düzeyde (0.988 - 0.995) bulunurken, CV değerleri %2.30 ile %4.91 aralığında değişmiştir. SEM değerleri AS için 0.93 cm, ASMK için 47.47 N ve İOUÇ için 90.05 N olarak belirlenmiştir. MDC değerleri AS için 2.59 cm, ASMK için 130.47 N ve İOUÇ için 32.49 N aralığında yer almıştır. Geçerlik analizleri, t-testi sonuçları AS için önemsiz bulunurken ($p=0.263$), ASRK için anlamlı bir fark ($p=0.001$) tespit edilmiştir. Blant-Altman analizi sonuçlarına göre mutlak fark ortalaması AS için 0.00016 cm (-0.010 cm - 0.008 cm), ASRK için 0.015 N (-0.215 N - 0.286 N) olarak bulunmuştur. Regresyon analizinde, R2 değerleri yüksek (0.967 - 0.988) bulunmuş, her iki ölçümde de regresyon kesim noktası güven aralığı 0 değerini içermiştir, eğim noktası güven aralığı ise 1 değerini içermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, geliştirilen cihazın test-tekrar test güvenilirliğinin ve eş zamanlı geçerliliğinin yüksek düzeyde olduğunu ve uygulamada kullanılabilecek yeterliliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Güç, Sıçrama, Kuvvet plakası, Kuvvet ölçümü, Kinetik ve kinematik

Abstract

In this study, the test-retest reliability and concurrent validity of a force platform, developed by the author with custom hardware and software, were evaluated. Seventeen participants were included in the study, with 60 data points analyzed for each test. For reliability assessment, counter movement jump (CMJ), counter movement jump force (CMJF), and isometric mid-thigh pull (IMTP) tests were conducted. For validity, a commercial force platform was used as the criterion device, and CMJ and CMJ relative force (CMJRF) tests were conducted at a sampling rate of 1000 Hz. Reliability analyses included intraclass correlation coefficients (ICC), coefficients of variation (CV), standard error of measurements (SEM), and minimal detectable change (MDC). Validity analyses included paired samples t-tests, Bland Altman analyses, and regression analyses. In reliability analyses, ICC values were found to be high (0.988 - 0.995), while CV values ranged from 2.30% to 4.91%. SEM values were determined to be 0.93 cm for CMJ, 47.47 N for CMJF, and 90.05 N for IMTP. MDC values ranged from 2.59 cm for CMJ to 130.47 N for CMJF and 32.49 N for IMTP. Validity analyses revealed no significant differences for CMJ ($p=0.263$) but significant differences for CMJRF ($p=0.001$) in t-test results. According to Bland-Altman analysis, the mean absolute difference was 0.00016 cm for CMJ (-0.010 cm - 0.008 cm) and 0.015 N for CMJRF (-0.215 N - 0.286 N). Regression analyses showed high R2 values (0.967 - 0.988), with regression intercept confidence intervals containing 0 and slope confidence intervals containing 1 for both measurements. The results of this study indicate that the developed device exhibits high levels of test-retest reliability and concurrent validity, demonstrating suitability for practical application.

Keywords: Power, Jump, Force plate, Force measurement, Kinetics and kinematics

Giriş

Spor bilimleri ve klinik alanda, sporcuların performansını ve hastaların gelişimini objektif bir şekilde değerlendirmek, antrenman programlarını optimize etmek ve rehabilitasyon süreçlerini yönetmek için güvenilir ve somut verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan, performans testleri, kritik bir rol oynayarak nesnel değerlendirmenin gücünü arttırmaktadır (Ulupınar ve İnce, 2021). Zemin reaksiyon kuvvetlerinin spor biyomekaniğinde ölçülen en yaygın ölçüm olduğu ileri sürülmektedir (Nigg, 2007). Belirli zaman aralıklarında gerçekleşen maksimal kuvvetler, kuvvet üretim hızları, maksimal güç gibi zemin reaksiyon kuvvetlerinden türetilen değişkenler önemli performans parametreleri olarak kabul edilmektedir. Bu parametreler, dış zemin reaksiyon kuvvetlerini üç düzlemde aynı anda belirleme yeteneğine sahip olan kuvvet platformları aracılığıyla ölçülmektedir. İnsan mekanik kuvvet ve gücünü ölçmek için kullanılan en yaygın ve kullanışlı araçlardan biri kuvvet platformlarıdır (Fransz, Huurnink, Kingma, Verhagenvevan Dieen, 2013; Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Aagaard ve Gonzalez-Badillo, 2018). Kuvvet platformları, üç boyutlu bir perspektifte kuvvetlerin analizini sağlayarak, dinamik ve statik koşullar altında insan hareketlerinin kapsamlı değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, atletik performans, rehabilitasyon ve biyomekanik araştırmalarında önemli bilgiler elde edilmektedir. PubMed bazlı Literatür taramasına göre, 1953-2022 yılları arasında kuvvet platformlarının kullanımına ilişkin 7700'den fazla akademik çalışma bulunmaktadır ve son yıllarda bu alanın önemi ve kullanım sıklığında belirgin bir artış gözlenmektedir (Eythorsdottir, 2022).

İskelet kaslarının kuvvet üretim yeteneklerinin etkili bir şekilde belirlenmesi, birçok antrenman planının temelini oluşturmanın yanı sıra, araştırma ve klinik ortamlar için değerli bilgiler sağlamaktadır (James, Roberts, Haff, KellyveBeckman, 2017). Kuvvet ve güç çıktıları koşu (Weyand, Sandell, Prime ve Bundle, 2010), sıçramalar (Hori ve diğ., 2008; McLellan, Lovell ve Gass, 2011; Prue, McGuigan ve Newton, 2010), yön değiştirme (İnce, 2019; Nimphius, McGuigan ve Newton, 2010; Salaj ve Markovic, 2011), atmalar (Marques, Saavedra, Abrantes ve Aidar, 2011) halter teknikleri (İnce ve Ulupınar, 2020; İnce, Ulupınar ve Özbay, 2020; Ulupınar ve İnce, 2021) gibi atletik performans öğeleri ile yüksek ilişki göstermektedir. Ayrıca, kuvvet parametreleri sağlıklı popülasyonlar ve hastalarda mekanik kas fonksiyonunu değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Bu kapsamda yürüyüş analizleri, asimetrik yüklenmeler (Jaafar, Lan, Ibrahim ve Weeratunga), egzersiz sonrası akut yorgunluğun takibi, rehabilitasyon sürecini izleme, antrenman müdahalesi etkileri sıklıkla gözlenmektedir. (Maffioletti ve diğ., 2016). Maksimum dikey sıçrama yüksekliği ise en sık rapor edilen genel performans değişkenlerinden biridir. Bireysel ve takım sporlarında temel becerilerin performansında dikey sıçrama yeteneğinin önemli bir unsur olduğuna dair kanıtlar vardır (Kellis, Tsitskaris, Nikopoulou ve Mousikou, 1999; Manske ve Reiman, 2013; Ulupınar ve İnce, 2021). Basketbolda ribaunt, voleybolda blok ve futbolda kafa vuruşu, halterde ikinci çekiş (İnce ve Ulupınar, 2020; Ulupınar ve

İnce, 2021) gibi birçok atletik beceri, yüksek düzeyde dikey sıçrama yeteneği gerektirmektedir (Pardos-Mainer, Lozano, Torrontegui-Duarte, Cartón-LlorenteveRoso-Moliner, 2021; Ramirez-Campillo ve diğ., 2020). Sıçrama yüksekliği farklı cihazlarla ölçülebilir (Eagles, Sayers, Bousson ve Lovell, 2015; Gençoğlu ve diğ., 2023). Ancak sıçramanın kinetik analizine yönelik kestirim yöntemleri olsa da (Samozino, Morin ve HintzyveBelli, 2008), sıçramayı üretmede etkili olan kuvvetlerin kapsamlı ve direkt analizine olanak tanıyan cihazlar kuvvet platformlarıdır (Beckham ve diğ., 2014; Eagles ve diğ., 2015). Kuvvet platformları, sıçrama ve zemin reaksiyon kuvvet ölçümleri için "altın standart" kabul edilmektedir (Barbalho ve diğ., 2020; García-López, Morante, Ogueta-Alday ve Rodríguez-Marroyo, 2013; Królikowska ve diğ., 2022; Patoz, Lussiana, Breine, Gindre ve Malatesta, 2022). Dolayısıyla kuvvet platformlarının özellikle kuvvet ve sıçrama testlerine yönelik güvenilirliği ve geçerliliği önem arz etmektedir ve ölçüm sistemiyle ilişkilendirilen hata minimal olmalıdır.

Ticari olarak 1970'lerin sonlarında, klinik ortamlarda ve biyomekanik laboratuvarlarında kullanılmak üzere ilk kuvvet platformunu geliştirmiştir. Son on yılda ise daha fazla ticari ürün ortaya çıkmıştır ve bazı uygulamalar için yararlı olabilecek daha hafif, taşınabilir versiyonları geliştirilmiştir (Badby, Mundy, Comfort, Lake ve McMahon, 2023; Merrigan ve diğ., 1990). Ancak, mevcut ticari kuvvet platformlarının spor faaliyetleri sırasında uygulanabilirlik ve maliyet konularında hâlâ bazı sınırlamalar mevcuttur (Peterson Silveira ve diğ., 2017). Kuvvet platformları aşırı pahalıdır ve genellikle ilave yazılımlar gerektirmektedir. Bu yazılımların yıllık lisanslama ücretleri olduğu gibi, tipik kuvvet platformları fiyatları 20.000-30.000\$ civarındadır (Beingolea ve ark., 2021; Duarte ve Freitas, 2010; Ridwan, Lan, FauziveWeeratunga, 2017). Bu maliyetler çoğu üniversite, federasyon ve kulüpler için karşılanması güç bütçe gerektirir. Bu nedenlerle bu çalışma, donanımı ve yazılımı araştırmacı tarafından geliştirilmiş ve maliyet açısından ekonomik çözüm sunan taşınabilir bir kuvvet platformunun performansını, sıçrama ve zemin reaksiyon kuvvetleri görevlerinde değerlendirerek, elde edilen verilerin güvenilirliğini ve doğruluğunu tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Deneyel yaklaşım

Geliştirilen kuvvet platformunun güvenilirlik ve geçerlik analizleri için tekrarlayan ölçümler ve kesitsel karşılaştırmalı bir tasarım uygulanmıştır. Test-tekrar test güvenilirliği, katılımcılardan iki ayrı gün boyunca aynı zamanda ve koşullarda gerçekleştirilen AS, ASMK ve İOUÇ testlerini içeren test prosedürleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu testler, aşağıda detayları verilen aynı prosedürler doğrultusunda uygulanmıştır. Her iki ölçüm gününden bir önceki günün dinlenme günü olması sağlanmış ve ölçümler arası 5 günlük bir zaman aralığı oluşmuştur. Geçerlik analizi için ise geliştirilen cihazın kriter cihazın yerleştirilmesiyle

AS, ASRK verileri eş zamanlı olarak alınmıştır. Ölçümler için deneklere rastgele şiddet uygulaması talimatı verilmiş ve cihazın farklı yüklerdeki hassasiyeti sınanmıştır. Bu araştırma tasarımı, ölçüm cihazlarının teknik hatalarını değerlendiren önceki çalışmalardaki metodolojilere benzerdir (Ashworth, Hogben, Singh, Tulloch ve Cohen, 2018; Olds, McLaine ve Magni, 2023).

Araştırma Grubu

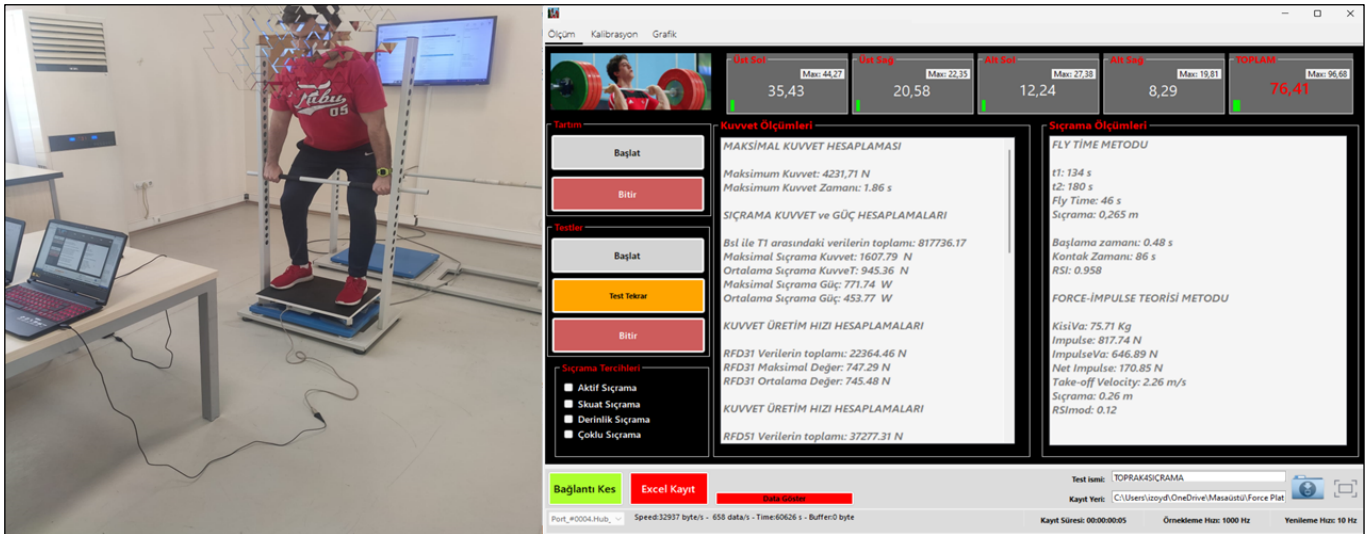
Araştırmada, analize alınacak veri sayısına belirlemek için iki farklı G-Power 3.1.9.7 analizi uygulanmıştır. Yapılan ilk G-power analizinde; güç büyüklüğü $(1-\beta)=0.80$; I. tip hata veya yanlışma düzeyi olarak kabul edilen $\alpha=0.05$; testin belirli bir değerden sapma olasılığını gösteren tail(s): 2; etki büyüklüğü (Cohen's d): 0.845 değerleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda, araştırmada toplam 14 verinin analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Etki büyüklüğü değeri, daha önce yapılan bir araştırmadan alınarak belirlenmiştir (Lake ve diğ., 2018). Yapılan ikinci G-Power analizi; güç büyüklüğü $(1-\beta)=0.80$, I. tip hata veya yanlışma düzeyi olarak kabul edilen $\alpha=0.05$, bağımsız değişkenlerin sayısını ifade eden prediktör sayısı = 1 ve etki büyüklüğü $(f^2)=0.15$ değerleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda ise, araştırmada toplam 55 verinin analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak hedeflenen veri sayısının yaklaşık %10'u kadar fazlası (5) araştırmaya dahil edilmiştir. Kriter cihazın sınırlı kullanım imkanları nedeniyle geçerlik analizleri için 2 aktif sporcu dahil edilmiş ve toplamda 60 AS ve ASRK veri analize alınmıştır. Güvenirlik analizleri için ise haftada en az 5 gün antrenman yapan 15 genç haltercinin toplam 60 AS, ASMK ve İOUÇ verisi değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılan sporcular, atletik performans test deneyimine sahip bi-

reyler arasından seçilmiştir. Her katılımcıdan, deney prosedürleri, potansiyel riskler ve faydaların ayrıntılı bir şekilde açıklandığı kurumsal onay almış bir bilgilendirilmiş ebeveyn veya vasiinin okuyup imzaladığı bir onay belgesi alınmıştır.

Veri Toplama Araçları

Geliştirilen kuvvet platformunun ana gövdesi 43x55 cm ebatlarında kuvvetlendirilmiş metal sac ve üzerine mdf sabitleyerek oluşturulmuştur. Olimpik halter kaldırırları gibi büyük yüklerle mukavemeti olan (toplam 2 ton) 500kg kapasiteli 4 yük hücresi sensör olarak kullanılmıştır. Bir analog/dijital sinyal dönüştürücü ve amflikatör ile donatılmış mikrodenetleyici ile sistem oluşturulmuştur. Metal sacın her bir köşesine cihaz sensörleri sabitlenmiştir. Bir proje kutusuna elektronik komponentler dizilmiş, sensör bağlantısı yapılmış ve kodlaması yapılarak ana gövdeye sabitlenmiştir. Bu donanım yaklaşık 18.000 TL bütçe ile oluşturulmuştur.

Visual Studio 2022 editöründe C# yazılım diliyle cihaza özelleşmiş bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada örneklemme hızı, test süresi gibi fonksiyonlar oluşturulmuş, sıçrama ve 4 sensörün kuvvet/ zaman değişkenlerini eş zamanlı alma ve tüm verileri Microsoft Excel'e aktarabilme yeteneğine sahip bir algoritma kodlanmıştır. Cihaz ve yazılımı izForce-v1 olarak isimlendirilmiştir (Resim 1). Kriter cihaz olarak ise Kistler Instrument AG tarafından üretilen kuvvet platformu (Type 9260AA, Winterthur, İsviçre) ve yazılımı Kistler MARS (S2P Ltd., Ljubljana, Slovenya) kullanılmıştır. Kistler kuvvet platformları birçok çalışmada altın standart ölçüm aracı olarak kullanılmıştır (Lake ve diğ., 2018; Peterson Silveira ve diğ., 2017; Silva, MoreiraveRocha, 2017).



Resim 1: Geliştirilen Cihaz ve yazılımı izForce-v1

Prosedürler

İÖÜÇ'nin dinamik varyasyonları deney grubunu oluşturan haltercilerin normal antrenman programlarında sıklıkla kullanıldığı için bir alıştırma seansı düzenlenmemiştir. Bununla birlikte, AS test deneyimi olan katılımcılar ölçümlere alınmıştır. Isınmayı standartlaştırmak için sporcuların her iki ölçüm seansı için koparma antrenmanı bitimi sonrasında 3 dakika ve ölçümler arası 30 saniye dinlenme aralıklarıyla önce İÖÜÇ sonra AS ölçümleri alınmıştır. İÖÜÇ testi, katılımcıların normal antrenmanlarında uyguladıkları yükseklikteki bara çekemeyecekleri ağırlık takılarak yapılmıştır. Her sporcu, kendi alışkanlığına dayalı bir yükseklikten testi gerçekleştirmiştir. Cihaz yazılımı, bir geri sayım ve başla komutu vererek 5 saniye boyunca 1000 Hz örnekleme hızıyla kayıt almıştır. Katılımcılar test esnasında maksimum kuvvet uygulamaları için sürekli teşvik edilmişlerdir. AS testinde, katılımcılardan ellerini belde tutarak, dizlerini tamamen düzleştirip, vücutlarını dik bir pozisyonda tutarak dikey bir sıçrama gerçekleştirmeleri istenmiştir. Ölçüm, geri sayım ve başlama direktifleriyle birlikte cihaz tarafından başlatılmıştır. Sıçramanın herhangi bir evresinde ellerin bel bölgesinden ayrılması veya sıçrama sırasında dizlerin bükülmesi durumunda, bu hareketler hatalı kabul edilmiş ve ölçüm tekrarlanmıştır. Bu ölçümler, bir dinlenme günü sonrası yapılan, aynı yüklenme koşullarıyla programlanmış bir antrenmanda, aynı saatte ve aynı prosedürlerle tekrar edilmiştir. Geçerlik testlerinde katılımcılar, 5 dakika hafif koşular, açma germe egzersizleri ve bazı mobilite hareketlerinden oluşan bir ısınma gerçekleştirmiş ve güvenilirlik analizindeki test prosedürünü uygulamışlardır.

Eş zamanlı ölçümler için geliştirilen cihaz, kriter cihazın üzerine yerleştirilmiş ve sıfırlama fonksiyonuyla data alınmıştır (Şekil 2). Geliştirilen cihazın kalibrasyonu için, kriter cihazla ölçülen birinci denek vücut ağırlığı referans alınmak istenmiştir; ancak, kriter cihazın üç ayrı denemede elde ettiği ölçümler farklı sonuçlar gösterdiği için ortalama bir değer belirlenmiştir. Her iki cihaz da 1000 Hz örnekleme hızı ve 5 saniye ölçüm süresine ayarlanmış ve kayıt alınmıştır. Kayıtlar herhangi bir filtreye tabi tutulmadan Microsoft Excel'e aktarılarak istatistiksel analizler yapılmıştır.

Verilerin Analizi

Veri dağılımının normallik varsayımları Shapiro-Wilks testiyle doğrulanmıştır. Tüm değişkenler ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (SS) olarak sunulmuştur. Tüm analizler için güven aralıkları %95, Tip-I hata oranı ise $\alpha < 0,05$ olarak alınmıştır. "Mutlak güvenilirliği" değerlendirmek için İki Yönlü Karışık Etki Modeli Sınıf İçi Korelasyon katsayıları (ICC) ve %95 güven aralığı (GA) sınırları hesaplanmıştır. Klinik uygulamalar için teknolojik bir ekipmanın değerlendirilmesinde 0.95–0.99 aralığındaki kesim değerleri "iyi" olarak kabul edilmektedir (Courel-Ibanez ve diğ., 2019) çalışmada bu sınıflama kabul edilmiştir. Ölçümlerin Standart Hatası (SEM) varyasyon analizinden elde edilen hataların ortalama karelerinin karekökü ($SEM = \sqrt{MS_E}$) eşitliğiyle, var-

iasyon katsayısı ise ($CV = 100 SEM/ortalama$) eşitliğiyle hesaplanmıştır (Atkinson ve Nevill, 1998). Çoğu spor performansı ve klinik cihaz güvenilirliği için CV genellikle %5'in altında kabul edildiği için bu değer sınır değer olarak alınmıştır (González-Badillo ve Sánchez-Medina, 2010). "Duyarlılık" rastgele hata bileşeni olarak elde edilen algılanabilir minimum değişim (MDC) tarafından tahmin edilmiş ve ($MDC = SEM \times 1,96 \times \sqrt{2}$) eşitliğiyle hesaplanmıştır (Beckerman ve diğ., 2001). MDC, ölçüm hatasına bağlı olarak bir ölçme aracı varyasyonunun ölçüsü olduğundan dolayı, bir fark MDC'den daha büyükse, "gerçek" bir farkı temsil edebileceği kabul edilmiştir (Ulupınar ve İzzet, 2021). Değişkenler arasındaki sistemik farklılıkları belirlemek için Eşli örneklem t-testi kullanılmıştır. Cihazlar arasındaki pratik anlamlılığı değerlendirmek amacıyla Hedge's *g* etki büyüklükleri hesaplanmıştır. Etki büyüklüğü (EB) değerleri sırasıyla 0.00-0.19 (önemsiz), 0.20-0.59 (küçük), 0.60-1.19 (orta), 1.20-1.99 (büyük), 2.00-3.99 (çok büyük) ve ≥ 4.00 (mükemmel) olarak yorumlanmıştır (Hopkins, 2014). Kistler kuvvet platformu bağımlı değişken olarak alınmış ve iki cihazdan elde edilen ölçümlerin arasındaki bağımlılığı ve doğrusal ilişkileri değerlendirmek için Regresyon analizi (Ordinary Least Products Regression) yapılmıştır. Kesim noktasının %95 GA için "0" değerini içermiyorsa bu "sabit sapma" olarak; eğimin %95 GA için "1" değerini içermiyorsa ise bu "oransal sapma" olarak değerlendirilmiştir (Ludbrook, 1997; Suchomel, Techmanski, Kissick ve Comfort, 2023; Thompson, Rogerson, Dorrell, Ruddock ve Barnes, 2020). İki ölçüm cihazı analizi arasındaki tutarlılığı ve farkları belirlemek, ölçümlerin güvenilirliğini değerlendirmek ve karşılaştırılan ölçüm yöntemlerinin arasındaki uyumsuzluğu ortaya koymak için Bland-Altman analizi yapılmıştır.

Etik Beyan

Helsinki Deklerasyonu 2008 prensiplerine göre yürütülen çalışma AYBÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulunun 12/04/2023 tarih 03-03 sayılı kararı ile etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bulgular

ICC değerleri, AS (0.988), ASK (0.994), olarak hesaplanmıştır (Tablo1). CV değerleri ise %2.30 ile %4.91 ve %2.54 arasında değişmektedir. SEM hesaplamalarının, AS 0.93cm, ASK 47.47N, olduğu görülmektedir. MDC değerleri AS (2.59m), ASK (130.47N), İÖÜÇ (90.05) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar mutlak ve görece güvenilirliğin yüksek olduğu ve cihaz hassasiyetinin iyi olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 1. izForce test-tekrar test güvenilirlik analizleri

Egzersizler	ICC (%95GA)	CV	MDC	SEM
AS (m)	0.988 (0.975 – 0.994)	%2.29	2.59 cm	0.93 cm
ASMK(N)	0.995 (0.989 – 0.998)	%4.90	130.47 N	47.47 N
İÖÜÇ (N)	0.994 (0.987 – 0.997)	%2.54	90.05 N	32.49 N

AS: Aktif Sıçrama, ASRK: Aktif Sıçrama Maksimal Kuvvet İÖÜÇ: İzometrik Orta Uyluk Çekişi. ICC: Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı, %95GA: %95 Güven Aralığı, SEM: Ölçümlerin Standart Hatası, MDC: Minimal Tespit Edilebilir Değişim, CV: Varyasyon Katsayısı.

Değişkenler arasındaki sistemik farklılıkları belirlemek amacıyla yapılan t-testi sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; AS’de anlamlı bir fark bulunmazken ASK de fark olduğu, etki büyüklüklerinin ise “önemsiz” olduğu görülmektedir (sırasıyla $p=0.263$, $EB=0.024$; $p=0.001$, $EB=0.015$). Bu sonuçlara göre, ASK’de sistematik farkların bulunduğu, etki büyüklüğüne göre pratikte bu farkın önemsiz olduğu söylenebilir.

Tablo 2. izForce ve kistler ölçümlerinin ortalamaları, standart sapmaları ve t-testi sonuçları

Egz.	Cihaz	\bar{X}	SS	t	p	Hedge’s g
AS (m)	izForce	0.279	0.042	1.12	0.263	0.024 (önemsiz)
	Kistler	0.278	0.042	9		
ASK (N)	izForce	21.507	1.373	6.52	0.001*	0.153 (önemsiz)
	Kistler	21.291	1.400	6		

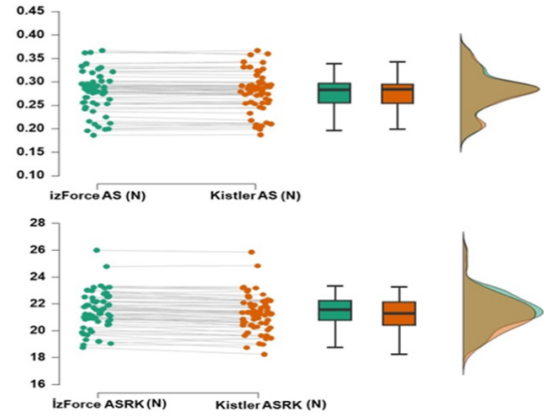
AS: Aktif Sıçrama, ASRK: Aktif Sıçrama Relatif Zirve Kuvvet, * $p<0,05$

Blant-Altman analizi sonuçlarına göre; mutlak fark ortalamasının AS’de 0.00016 cm (0.010 m – 0.008 m), ASRK’de 0.015 N (0.215N – 0.286 N), olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara görev cihazların uyumlu oldukları ve sabit veya oransal bir hatanın bulunmadığı söylenebilir (Tablo 3).

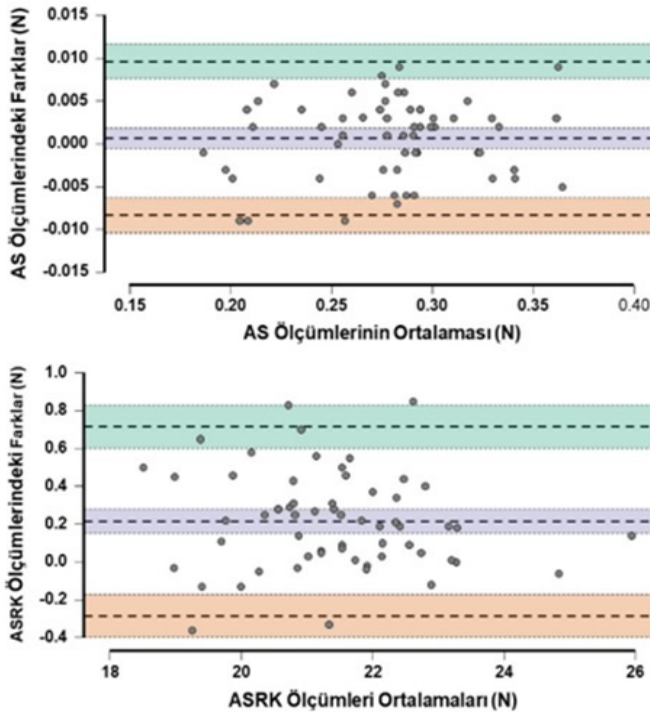
Tablo 3. izForce ve KISTLER ölçümleri Blant-Altman Analizi sonuçları

Egz.	Sapma ve Limitler	Farklar	%95GA Alt Sınırları	%95GA Üst Sınırları
AS (m)	Ortalama + 1.96 SS	0.010	0.008	0.012
	Ortalama	0.00016	-5.159	0.002
	Ortalama – 1.96 SS	-0.008	-0.010	-0.006
ASRK(N)	Ortalama + 1.96 SS	0.716	0.602	0.831
	Ortalama	0.215	0.149	0.281
	Ortalama – 1.96 SS	-0.286	-0.400	-0.171

AS= Aktif Sıçrama; ASRK= Aktif Sıçrama Relatif Zirve Kuvvet; %95GA: %95 Güven Aralığı.



Grafik 1: izForce ve KISTLER ölçümlerinin fark grafikleri (AS= Aktif Sıçrama, ASRK= Aktif Sıçrama Relatif Zirve Kuvvet)



Grafik 2: izKod ve KISTLER ile ölçümlerine ait Blant-Altman (Sol) ve Regresyon grafikleri (Sağ). Blant-altman grafiklerinde referans çizgileri (kesikli çizgiler) farkların ortalamasını ve uyum sınırlarını (%95 güven aralığında) göstermektedir. Nokta çizgiler (renkli alanlar) referans çizgilerinin %95 güven aralıklarını göstermektedir. Regresyon grafiğinde kırmızı doğru eğim ve kesikli çizgiler %95 güven aralıklarını göstermektedir.

Tablo 4 Regresyon analizi sonuçlarına göre; R^2 değerleri AS 0.988 iken ASK 0.967 olarak hesaplanmıştır. Her iki ölçüm için Regresyon kesim noktası “0” değerini içermekte ve eğim noktası “1” değerini içermektedir. Bu sonuçlar sabit ve oransal hata olmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 4. izForce ve KISTLER ölçümleri Regresyon Analizi sonuçları

Egzersizler	R ²	%95 Güven Aralığında Kesim	%95 Güven Aralığında Eğim	Model Eşitliği
AS (m)	0.988	-0.003473 – 0.01241	0.9534 – 1.0097	$y = 0.1192 + 0.9564 x$
ASRK (N)	0.967	-1.3708 – 0.7378	0.9558 – 1.0536	$y = 0.03567 + 0.9933 x$

AS: Aktif Sıçrama, ASRK: Aktif Sıçrama Relatif Zirve Kuvvet, İOUÇ= İzometrik Orta Uyluk Çekişi, *: Kesim %95 güven aralığı 0'ı içermiyorsa, sabit bir yanlılık (bias) mevcut; eğer eğim %95 güven aralığı 1'i içermiyorsa, oransal yanlılık (proportional bias) mevcut anlamına gelmektedir.

Tartışma

Bu çalışmada, düşük maliyetli, el yapımıyla geliştirilen bir kuvvet platformunun güvenilirlik ve geçerliliği değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonuçları, geliştirilen cihazın güvenilir ve geçerli olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, maliyet etkinliği ve doğruluk açısından oldukça avantajlı bir kuvvet platformunun, bilimsel ve uygulamalı çalışmalarda etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bir ölçüm sistemindeki hata ne kadar küçükse, performansta gerçek bir değişikliği tespit etmek o kadar kolay olmaktadır (Hopkins, 2000). Özellikle elit ve yüksek performanslı sporcuların test edildiği durumlarda, performansta beklenen küçük iyileştirmeler söz konusu ise performans testiyle ilişkilendirilen hata minimum seviyede olmalıdır (Lindberg ve diğ., 2022). Eğer beklenen performans değişiklikleri büyükse, örneğin, güç antrenmanı müdahalesi uygulayan eğitimsiz bireyler için (Ulupınar ve İzzet, 2021) ölçümlerde bir miktar daha büyük hataları kabul etmek tartışılabilir; ancak genel olarak hatalar istenmeyen durumlardır. Bir testin geçerli olması için güvenilirlik ön şarttır ve bu nedenle, herhangi bir testin doğruluğunu araştırırken geçerlilikten önce güvenilirlik incelenmesi yaygın bir kabuldür (Thomas, Dos'Santos, ComfortveJones, 2017). Bu çalışmada, mutlak güvenilirlik göstergelerinden ICC değerleri, AS= 0.988, ASMK= 0.995, İOUÇ= 0.994 olarak hesaplanmıştır. Klinik cihazlarda ICC değerinin 0.95 üzerinde olması gerektiği savunulmaktadır (Courel- Ibanez ve diğ., 2019). Ticari yerleşik ve taşınabilir iki sistemin karşılaştırıldığı bir çalışmada, AS'de yerleşik sistemin ICC=0.959, taşınabilir sistemin ICC=0.960, sıçrama kuvvet ölçümlerinde ise her iki sistemin ICC=0.983 olduğu raporlanmıştır. Dolayısıyla, izForce ICC değerleri ticari alternatifleriyle benzer sonuçlar sunabilmektedir.

Sıçrama yüksekliğinde güvenilirlik, genellikle CV %1 ile %14 arasında değişen bir aralıkta rapor edilmiştir (Celik ve diğ., 2023; Hatze, 1998; Linthorne, 2001; Matheson ve diğ., 2013; Merrigan, Stone, HornsbyveHagen, 2021; Moir, GarciaveDwyer, 2009; Thomas ve diğ., 2017). Sıçrama Kuvvet ölçümlerininse CV= %3,14 ile %3.91 arasında tespit edildiği görülmektedir. (Cormack, Newton, McGuigan ve Doyle, 2008; Çelik ve diğ., 2023; Raymond ve diğ., 2018). Bazı çalışmalarda biyomekanik değişkenler için CV'nin yaklaşık olarak %10 civarında rapor edilmesi sebebiyle kabul sınırı ≤ %10 olarak alınmıştır (Garnacho-Castaño, López-LastraveMaté-Muñoz, 2015; Perez-Castilla, Piepoli, Delgado-García, Garrido-BlancaveGarcía-Ramos, 2019; Suchomel ve diğ., 2023). Bununla beraber, hassas klinik cihazlar için kabul edilen güvenilirlik sınırın %5 değerinin altında olması

gerekliliği de savunulmaktadır (González-BadilloveSánchez-Medina, 2010). izForce AS ölçümleri CV değerleri %2.30 ile %4.91 arasında değişmektedir ve bu değerler klinik cihazlar için dahil olmak üzere istenilen tüm sınırları karşılamaktadır.

SEM hesaplamalarının, AS= 0.93cm, ASK = 47.47 N, İOUÇ= 32.49 N olduğu görülmektedir. Literatürde, AS'nin günler arası güvenilirliğinin değerlendirildiği bir çalışmada tipik hatanın 1.74cm olduğu raporlanmıştır (Souza ve diğ., 2020). Ticari bir cihaz ile gerçekleştirilen denemelerde İOUÇ için tipik hatanın 60.8N tespit edilmiştir (Keogh, Collins, WarringtonveComyns, 2020). Kistler ile yapılan bir ölçümde ise SEM= 71.97N olduğu bildirilmiştir (Çelik ve diğ., 2023). Benzer şekilde, ticari cihazların karşılaştırıldığı çalışmalarda ASK ölçümlerinde tipik hatanın farklı günlerde ve farklı gruplarda 64N ile 98N arasında değiştiği görülmektedir (Lombard, Reid, PearsonveLambert, 2017; Raymond ve diğ., 2018; Souza ve diğ., 2020). Mevcut literatür göz önüne alındığında, izForce'un oldukça avantajlı bir cihaz olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

izforce'un MDC değerleri AS için 2,59 cm; ASK için 130.47 N ve İOUÇ için 90.05 N olarak bulunmuştur. Önceki araştırmalarda MDC AS için 4.95 olarak belirlenmiştir (Celik ve diğ., 2023), İOUÇ için MDC değerleri ise 121.58 N olarak rapor edilmiştir (Çelik ve diğ., 2023). Bir diğer çalışmada ise 190.36N iken, ASK için 131.65N (Raymond ve diğ., 2018) olarak tespit edilmiştir. Güvenirlik çalışmalarında MDC, bir ölçümün veya testin hassasiyetini değerlendiren ve bu hassasiyetin temelindeki ölçüm hatasını veya varyasyonu yansıtan bir metrik olarak kabul edilmektedir (Ulupınar ve İzzet, 2021). Genel olarak, izForce literatürdeki sınırlı çalışma verilerine dayanarak benzer hassasiyetle ölçümler almaktadır. Şüphesiz en yüksek kalitede veri elde etmek ve hata miktarını en aza indirmek için daha hassas ölçümler üzerine odaklanılmalıdır. Ölçüm sistemindeki hata miktarının azalması, performansta gerçek bir değişikliği tespit etmeyi kolaylaştırabilir.

Kistler ve izForce ölçümleri üzerinde yapılan t-testi sonuçlarına göre; AS grubunda anlamlı bir fark belirlenmezken ASRK grubunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bu farkın etki büyüklüğü "önemsiz" düzeydedir ($g=0.153$). Bu bulgu, ASRK ölçümlerinde sistemik bir farkın varlığına işaret edebilir ancak Bland-Altman analizi ve regresyon analizi bu sonucu desteklememektedir. Bland-Altman analizi, izForce ve Kistler ölçümleri arasındaki farkın uyumluluk sınırları içinde olduğunu göstermektedir (0.716 ile -0.286 aralığında) ve

bu bulgular, metodolojik olarak benzer bir çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur (Lake et al., 2018). Söz konusu çalışmada, sıçrama net kuvveti üzerindeki ortalama farklar ve uyum sınırları bu çalışmanın benzeridir, bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve etki büyüklüğü $d = 0.14$ (önemsiz) olarak raporlanmıştır (Lake ve diğ., 2018). Ek olarak, ticari kuvvet platformlarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmaya göre, bu çalışmanın Bland-Altman analizi mutlak fark dağılımının daha düşük olduğunu göstermektedir (Raymond ve diğ., 2018). Bu verilere dayanarak, izForce'nin (\bar{X} 21.507) Kistler'den (\bar{X} 21.291) anlamlı bir şekilde daha yüksek ölçüm yaptığı gözlemlenmiş olsa da, bu farkın saha uygulanabilirliği açısından önemli olmadığı sonucuna varılabilir. Buna ilaveten, ASRK ölçümleri için yapılan regresyon analizinde ($R^2 = 0.967$) kesim noktası "0" değerini ve eğim noktası "1" değerini içermiştir ve bu bulgu sistemik bir hatanın olmadığını göstermektedir. Bu bulgu da izForcenin ASRK ölçümleri için geçerli bir kuvvet platformu olduğunu doğrulamaktadır.

AS ölçümleri için yapılan Bland-Altman analizi, uyum sınırlarının 0 ile 0.1 arasında olduğunu ve regresyon analizi sonuçlarının ise sistemik bir hatanın bulunmadığını göstermektedir; $R^2 = 0.988$ olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, izForce ve Kistler'in birbirlerinin yerine geçebilecek kadar uyumlu olduğunu göstermektedir. Ticari kuvvet platformlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, AS ölçümlerinin Kistler 37.2cm, ForceDecks 36.2cm, MuscleLab 35.2cm, HurlLabs 35.8cm olduğu raporlanmıştır (Eythorsdottir, 2022). Bu çalışmada ise izForce 27.9cm, Kistler 27.8cm ölçtüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar da izForce'nin Referans cihaz olarak kabul edilen Kistler ile diğer alternatiflerine göre daha uyumlu ve oldukça geçerli bir cihaz olduğunu doğrulamaktadır.

Türkiye'de kullanılan kuvvet platformlarının ithal edilmesi, bir dizi sorunu beraberinde getirmektedir. Özellikle kur yükselişleri, ithalat vergilerindeki artışlar, distribütör kar marjlarındaki yükselmeler, teknik destek sorunları ve yedek parça temini konusundaki zorluklar, laboratuvarlar ve araştırmacılar için önemli engeller oluşturmaktadır. Bu faktörler, üniversite bütçelerini zorlamakta ve birçok üniversitenin kuvvet platformlarına erişimini kısıtlamaktadır. Ülkemizde birçok üniversitenin bu tür kuvvet ölçüm ekipmanlarına sınırlı erişimi olduğundan, atletik performans testleri ve klinik çalışmalar gibi önemli araştırmaların laboratuvar ortamlarında ve saha şartlarında gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Bu durum, öğrencilerin pratik eğitim almasını ve spor bilimleri alanında gelişmeleri takip etmelerini engelleyebilir. izForce, çok düşük maliyetle geliştirilmiş ve çeşitli disiplinlerine özelleşmiş yeni uygulamaları geliştirmek için bir temel oluşturmuştur. Benzer girişimler aracılığıyla, üniversitelerin temel ihtiyaçlarını karşılama yetenekleri artabilir, özellikle maliyet/fayda dengesi oluşturulabilir. Ekonomik çözümlerle, üniversiteler kendi araştırma ve eğitim ihtiyaçlarına daha etkin bir şekilde yanıt verebilirler. Bu durum, Türkiye'nin spor bilimleri ala-

nındaki gelişimine önemli bir katkıda bulunabilir ve üniversitelerin daha sürdürülebilir çözümlerle güçlenmelerine imkân tanıyabilir.

Araştırmanın en belirgin sınırlılıklarından biri, kriter cihaz kullanımının kısıtlı olması ve bu nedenle dar kapsamlı bir geçerlik çalışmasının yürütülmüş olmasıdır. Bu durum, elde edilen sonuçların genelleme potansiyelini azaltabilir ve belirli ölçümlerle sınırlı bir perspektif sunabilir. Gelecek çalışmalarda, spor bilimleri ve klinik uygulamalarda yaygın olarak ölçülen diğer parametreler için güvenilirlik ve geçerlik analizlerinin gerçekleştirilmesi, bu sınırlılığı aşmak için önemli bir adım olacaktır. Özellikle İOUÇ testleri sonrasında elde edilen ham verilerde, cihazın "daralma" veya sıfırlama fonksiyonunun değiştiği gözlemlenmiştir. Bu durum, izForce'un yüksek hassasiyetinin bir avantajı gibi görülebilir, ancak İOUÇ ve ASK ölçümlerindeki varyasyonun önemli bir etkeni olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, izForce yazılımına her ölçüm için sensörlerin otomatik olarak sıfırlanmasını sağlayacak bir fonksiyon eklenmesi gerekmektedir. Bu otomatik sıfırlama fonksiyonu, ölçümler arasındaki tutarlılığı artırarak, veri doğruluğunu sağlamak ve sonuçların daha güvenilir olmasını temin etmek için gereklidir.

Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmanın bulguları, geliştirilen izForce kuvvet platformunun, test-tekrar test güvenilirliği ve eş zamanlı ölçüm geçerliliğinin oldukça yüksek olduğunu ifade etmektedir. AS, ASMK ve İOUÇ testleri üzerinden yapılan güvenilirlik analizlerinde elde edilen yüksek sınıf içi korelasyon katsayısı değerleri ve düşük varyasyon katsayıları, bu cihazın tekrarlanabilir ve tutarlı ölçümler sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, minimum tespit edilir değişim değerleri, cihazın küçük değişiklikleri dahi hassasiyetle tespit edebilme kapasitesine işaret etmektedir. Eş zamanlı geçerlik analizlerinde, Bland-Altman analizleri ve regresyon analizleri, geliştirilen cihazın referans alınan cihazla benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur ve cihazın sahada referans cihazla eş değer sonuçlar sunabilecek nitelikte olduğunu göstermektedir. Regresyon analizlerinde elde edilen yüksek R^2 değerleri ve güven aralıklarının analitik beklentilerle uyumlu olması, cihazın güvenilirliğini ve geçerliliğini daha da pekiştirmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada, geliştirilen kuvvet platformu ve yazılımının, spor bilimleri ve rehabilitasyon alanlarında kullanılan mevcut cihazlara alternatif sunulabilecek, yüksek güvenilirlik ve geçerlilik özelliklerine sahip bir cihaz olduğu doğrulanmıştır. Geliştirilen kuvvet platformu ve yazılımı, saha uygulamalarında kullanılan referans cihazlarla eşdeğer ölçümler yapabilme potansiyeline sahiptir ve bu nedenle pratikte önemli bir rol oynayabilir.

Finans Kaynakları

Bu çalışma, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından THD-2023-2492 kodlu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkıları

Çalışma tek yazar tarafından gerçekleştirilmiştir

Kaynaklar

- Ashworth, B., Hogben, P., Singh, N., Tulloch, L. ve Cohen, D. D. (2018). The Athletic Shoulder (ASH) test: reliability of a novel upper body isometric strength test in elite rugby players. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 4(1), e000365. doi:10.1136/bmjsem-2018-000365
- Atkinson, G. ve Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238. doi:10.2165/00007256-199826040-00002
- Badby, A. J., Mundy, P. D., Comfort, P., Lake, J. P. ve McMahon, J. J. (2023). The validity of Hawkin Dynamics wireless dual force plates for measuring countermovement jump and drop jump variables. *Sensors*, 23(10), 4820.
- Barbalho, M., Kleiner, A. F. R., Callegari, B., de Lima, R. C., da Silva Souza, G., e Silva, A. d. A. C. ve Coswig, V. S. (2020). Assessing interlimb jump asymmetry in young soccer players: the my jump 2 APP. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(1), 19-27.
- Beckerman, H., Roebroek, M., Lankhorst, G., Becher, J., Bezemer, P. D. ve Verbeek, A. (2001). Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Quality of Life Research*, 10, 571-578.
- Beckham, G., Suchomel, T. ve Mizuguchi, S. (2014). Force plate use in performance monitoring and sport science testing. *New Studies in Athletics*, 29(3), 25-37.
- Beingolea, J. R., Rodrigues, H. A., Zegarra, M., Sulla-Espinoza, E., Torres-Silva, R. ve Rendulich, J. (2021). Designing a multi-axial extensometric force platform: a manufacturing experience. *Electronics*, 10(16). doi:10.3390/electronics10161907
- Celik, H., Yildirim, A., Ünver, E., Mavili, C., Yilmaz, E., Öztürk, F., . . . Alpan Cinemre, S. (2023). Force-time analysis of the drop jump: reliability of jump measures and calculation methods for measuring jump height. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 1-14.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. ve Doyle, T. L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal Sports Physiol Perform*, 3(2), 131-144. doi:10.1123/ijsp.3.2.131
- Courel-Ibanez, J., Martinez-Cava, A., Moran-Navarro, R., Escribano-Penas, P., Chavarren-Cabrero, J., Gonzalez-Badillo, J. J. ve Pallares, J. G. (2019). Reproducibility and repeatability of five different technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Ann Biomed Eng*, 47(7), 1523-1538. doi:10.1007/s10439-019-02265-6
- Çelik, H., Mavili, C., Yılmaz, E., Ünver, E., Öztürk, F., Bulut, S., . . . Cinemre, Ş. A. (2023). Genç basketbol oyuncularında izometrik orta uyluk çekme testinin güvenilirliği. *Spor Bilimleri Dergisi*, 34(2), 59-70. doi:10.17644/sbd.1180205
- Duarte, M. ve Freitas, S. M. (2010). Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 14, 183-192.
- Eagles, A. N., Sayers, M. G. L., Bousson, M. ve Lovell, D. I. (2015). Current methodologies and implications of phase identification of the vertical jump: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45, 1311-1323.
- Eythorsdottir, I. E. T. (2022). *The force platform project: how to compare jump height measured by different force platform systems?*
- Fransz, D. P., Huurnink, A., Kingma, I., Verhagen, E. A. ve van Dieen, J. H. (2013). A systematic review and meta-analysis of dynamic tests and related force plate parameters used to evaluate neuromusculoskeletal function in foot and ankle pathology. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 28(6), 591-601.
- García-López, J., Morante, J. C., Ogueta-Alday, A. ve Rodríguez-Marroyo, J. A. (2013). The type of mat (contact vs. photocell) affects vertical jump height estimated from flight time. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(4), 1162-1167.
- Garnacho-Castaño, M. V., López-Lastra, S. ve Maté-Muñoz, J. L. (2015). Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(1), 128.
- Gençoğlu, C., Ulupinar, S., Özbay, S., Turan, M., Savaş, B. Ç., Asan, S. ve İnce, İ. (2023). Validity and reliability of "My Jump app" to assess vertical jump performance: a meta-analytic review. *Scientific Reports*, 13(1), 20137.
- González-Badillo, J. J. ve Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of Sports Medicine*, 347-352.
- Hatze, H. (1998). Validity and Reliability of methods for testing vertical jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(2), 127-140. doi:10.1123/jab.14.2.127
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30, 1-15.
- Hopkins, W. G. (2014). A scale of magnitudes for effect statistics. 2002. *A new view of statistics from <http://sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>*. Accessed, 1.
- Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R. ve Nosaka, K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 412-418.
- İnce, İ. (2019). Effects of split style olympic weightlifting training on leg stiffness vertical jump change of direction and sprint in collegiate volleyball players. *Universal Journal of Educational Research*, 7(1), 24-31.
- İnce, I. ve Ulupinar, S. (2020). Prediction of competition performance via selected strength-power tests in junior weightlifters. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(2), 236-243.
- İnce, İ., Ulupinar, S. ve Özbay, S. (2020). Body composition isokinetic knee extensor strength and balance as predictors of competition performance in junior weightlifters. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(2), 215-222.

27. James, L. P., Roberts, L. A., Haff, G. G., Kelly, V. G. ve Beckman, E. M. (2017). Validity and reliability of a portable isometric mid-thigh clean pull. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(5), 1378-1386.
28. Kellis, S. E., Tsitskaris, G. K., Nikopoulou, M. D. ve Mousikou, K. C. (1999). The evaluation of jumping ability of male and female basketball players according to their chronological age and major leagues. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(1), 40-46.
29. Keogh, C., Collins, D., Warrington, G. ve Comyns, T. (2020). Intra-trial reliability and usefulness of isometric mid-thigh pull testing on portable force plates. *Journal of Human Kinetics*, 71(1), 33-45.
30. Królikowska, A., Mika, A., Plaskota, B., Daszkiewicz, M., Kentel, M., Kołcz, A., . . . Reichert, P. (2022). Reliability and validity of the athletic shoulder (ASH) test performed using portable isometric-based strength training device. *Biology*, 11(4), 577.
31. Lake, J., Mundy, P., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J. ve Carden, P. (2018). Concurrent validity of a portable force plate using vertical jump force-time characteristics. *J Appl Biomech*, 34(5), 410-413. doi:10.1123/jab.2017-0371
32. Lindberg, K., Solberg, P., Bjørnsen, T., Helland, C., Rønnestad, B., Thorsen Frank, M., . . . Paulsen, G. (2022). Strength and power testing of athletes: a multicenter study of test-retest reliability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(7), 1103-1110. doi:10.1123/ijsp.2021-0558
33. Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
34. Lombard, W., Reid, S., Pearson, K. ve Lambert, M. (2017). Reliability of metrics associated with a counter-movement jump performed on a force plate. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 21(4), 235-243.
35. Ludbrook, J. (1997). Special article comparing methods of measurement. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 24(2), 193-203.
36. Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. ve Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*, 116(6), 1091-1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6
37. Manske, R. ve Reiman, M. (2013). Functional performance testing for power and return to sports. *Sports Health*, 5(3), 244-250.
38. Marques, M., Saavedra, F., Abrantes, C. ve Aidar, F. (2011). Associations between rate of force development metrics and throwing velocity in elite team handball players: a short research report. *Journal of Human Kinetics*, 29(Special-Issue), 53-57.
39. Matheson, L. A., Duffy, S., Maroof, A., Gibbons, R., Duffy, C. ve Roth, J. (2013). Intra- and inter-rater reliability of jumping mechanography muscle function assessments. *J Musculoskeletal Neuronal Interact*, 13(4), 480-486.
40. McLellan, C. P., Lovell, D. I. ve Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 379-385.
41. Merrigan, J. J., Stone, J. D., Hornsby, W. G. ve Hagen, J. A. (2021). Identifying reliable and reliable force-time metrics in athletes—considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump. *Sports*, 9(1), 4.
42. Merrigan, J. J., Strang, A., Eckerle, J., Mackowski, N., Hierholzer, K., Ray, N. T., . . . Briggs, R. A. (2024). Countermovement Jump Force-Time Curve Analyses: Reliability and Comparability Across Force Plate Systems. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2024, 38.1: 30-37.
43. Moir, G. L., Garcia, A. ve Dwyer, G. B. (2009). Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *International Journal of Sports Physiology And Performance*, 4(3), 317-330. doi:10.1123/ijsp.4.3.317
44. Nimphius, S., McGuigan, M. R. ve Newton, R. U. (2010). Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 885-895.
45. Olds, M., McLaine, S. ve Magni, N. (2023). Validity and Reliability of the Kinvent Handheld Dynamometer in the Athletic Shoulder Test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 1(aop), 1-9.
46. Pardos-Mainer, E., Lozano, D., Torrontegui-Duarte, M., Cartón-Llorente, A. ve Roso-Moliner, A. (2021). Effects of strength vs. plyometric training programs on vertical jumping, linear sprint and change of direction speed performance in female soccer players: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 18(2). doi:10.3390/ijerph18020401
47. Patoz, A., Lussiana, T., Breine, B., Gindre, C. ve Malatesta, D. (2022). A single sacral-mounted inertial measurement unit to estimate peak vertical ground reaction force, contact time, and flight time in running. *Sensors*, 22(3), 784.
48. Perez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G. ve García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265.
49. Peterson Silveira, R., Stergiou, P., Carpes, F. P., Castro, F. A. d. S., Katz, L. ve Stefanyshyn, D. J. (2017). Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. *Sports Biomechanics*, 16(2), 177-186.
50. Prue, P., McGuigan, M. ve Newton, R. (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med. Sci. Sports Exerc*, 42, 1566-1581.
51. Ramirez-Campillo, R., Andrade, D. C., Nikolaidis, P. T., Moran, J., Clemente, F. M., Chaabene, H. ve Comfort, P. (2020). Effects of plyometric jump training on vertical jump height of volleyball players: a systematic review with meta-analysis of randomized-controlled trial. *J Sports Sci Med*, 19(3), 489-499.
52. Raymond, F., Lussier, B., Dugas, F., Charbonneau, M., Croteau, F., Kennedy, C. ve Berryman, N. (2018). Using portable force plates to assess vertical jump performance: A metrological appraisal. *Sports*, 6(4), 149.
53. Ridwan, M., Lan, M. F., Fauzi, M. ve Weeratunga, K. (2017). *Development and validation of a force platform to measure ground reaction forces of national athletes*. Paper presented at the 2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA).
54. Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P. ve Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*, 38(5), 743-762. doi:10.1111/cpf.12495
55. Salaj, S. ve Markovic, G. (2011). Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5), 1249-1255.
56. Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F. ve Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41(14), 2940-2945.

57. **Silva, M. G., Moreira, P. V. S. ve Rocha, H. M.** (2017). Development of a low cost force platform for biomechanical parameters analysis. *Research on Biomedical Engineering*, 33(3), 259-268. doi:10.1590/2446-4740.01217
58. **Souza, A. A., Bottaro, M., Rocha, V. A., Lage, V., Tufano, J. J. ve Vieira, A.** (2020). Reliability and test-retest agreement of mechanical variables obtained during countermovement jump. *Int J Exerc Sci*, 13(4), 6-17.
59. **Suchomel, T. J., Techmanski, B. S., Kissick, C. R. ve Comfort, P.** (2023). Reliability, validity, and comparison of barbell velocity measurement devices during the jump shrug and hang high pull. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(1), 35.
60. **Thomas, C., Dos'Santos, T., Comfort, P. ve Jones, P. A.** (2017). Between-session reliability of common strength- and power-related measures in adolescent athletes. *Sports*, 5(1), 15.
61. **Thompson, S. W., Rogerson, D., Dorrell, H. F., Ruddock, A. ve Barnes, A.** (2020). The Reliability and validity of current technologies for measuring barbell velocity in the free-weight back squat and power clean. *Sports*, 8(7), 94.
62. **Ulupinar, S. ve İnce, İ.** (2021). Prediction of competition performance via commonly used strength-power tests in junior female weightlifters. *Isokinetics and Exercise Science*, 29(3), 309-317.
63. **Ulupinar, S. ve İzzet, İ.** (2021). Spor Bilimlerinde etki büyüklüğü ve alternatif istatistik yaklaşımları. *Sportmetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 19(1), 1-17.
64. **Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N. ve Bundle, M. W.** (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 950-961.