

# Yere İniş Hareketinin Kinetik Analizi: Voleybol Oyuncuları ve Sedanter Katılımcıların Karşılaştırması

## Kinetic Analysis of Drop Landing: Comparison of Volleyball Players And Novice Subjects

Araştırma Makalesi

Uğur YILMAZ, Hüseyin ÇELİK, Pınar ARPINAR AVŞAR  
Hacettepe Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Biyomekanik ve Motor Kontrol ABD

### ÖZ

Bu çalışmada yere iniş ve sıçrama hareketlerine yatkın olan ve olmayan kişilerin, yere iniş kinetiği ve postüral stabilite performansları incelenmiştir. Araştırmaya voleybol oyuncuları ( $n=6$ ) ve sedanter üniversite öğrencilerinden ( $n=6$ ) oluşan 12 sağlıklı, genç kadın gönüllü olarak katılmıştır. Yüksekten kuvvet platformu üzerine çift ayak ile iniş sonrası 20 s sakin duruş denemelerine ait yer tepki kuvvetleri büyüklük ve zamansal yapısı analiz edilmiş, dinamik ve statik postüral stabilite performansları belirlenmiştir. Yere temas anı, yer tepki kuvveti dikey bileşeni (DYTK) pik değeri ( $DYTK_{pik}$ ) ve bu değere ulaşılan süre ( $t_{pik}$ ) yüklenme hızının (YH) hesaplanmasında kullanılmıştır. Yere temas anı ile DYTK'nın 1 vücut ağırlığına eşit olduğu ana kadar geçen süre ( $t_{DS}$ ; dinamik postüral stabilite süresi) belirlenmiş, sakin duruş safhasında ( $t_{SS}$ ; statik postüral stabilite periyodu) basınç merkezi (COP) değişimlerinden COP Hızı ( $COP_{Hiz}$ ), COP Elips Alanı (EA) ve COP Değişim Aralığı (DA) hesaplanmıştır.  $DYTK_{pik}$ , dinamik ve statik postüral sta-

### ABSTRACT

This study investigates landing kinetics and postural stability of skilled volleyball players ( $n=6$ ) and novice subjects ( $n=6$ ). 12 healthy young females voluntarily participated in the study. The amplitude and temporal profile of the ground reaction forces (GRFs) which correspond to double-leg landing from a drop and subsequent 20-s quiet stance were analyzed. Dynamic and static postural stability performances were determined. Contact time ( $t_0$ ), maximal vertical GRF ( $VGRF_{max}$ ), time to  $VGRF_{max}$  ( $t_{max}$ ) and Loading Rate (LR) were calculated. The time that elapsed from  $t_0$  until the VGRF reaches to one body weight was determined ( $t_{DS}$ ; dynamic postural stability duration). Center of Pressure (COP) Velocity ( $COP_V$ ), Ellipse Area (EA), and Range were calculated from the COP trajectory during the quiet stance phase ( $t_{SS}$ ; static postural stability period). Mann Whitney U test was used to compare  $VGRF_{max}$ , dynamic and static postural stability between groups. Whereas,  $VGRF_{max}$  ( $p=0.015$ ) and LR ( $p=0.004$ ) were found to be lower,  $t_{DS}$  ( $p=0.001$ )

bilite değişkenlerinin gruplar arası karşılaştırmasında Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Voleybolcu grupta  $DYTK_{pik}$  ( $p=0.015$ ) ve YH ( $p=0.004$ ) değerleri daha düşük,  $t_{DS}$  ( $p=0.001$ ) süresi ise daha uzun ve iki grup arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.  $DYTK_{pik}$  ve YH değerleri arttıkça  $t_{DS}$ 'nin artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Spearman sıra korelasyon analizi sonuçlarına göre  $t_{DS}$  ile  $DYTK_{pik}$  ( $r_s=-0.461$ ,  $p<0.001$ ) ve YH ( $r_s=-0.276$ ,  $p<0.001$ ) arasında sırasıyla orta ve zayıf düzeyde negatif ilişki bulunmuştur. Sakin duruşta COP değişimleri ile ilişkili parametrelerde ise gruplar arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir. Sederanter grupta EA ve DA değerleri bir miktar yüksek,  $COP_{Hız}$  değerleri ise düşük bulunmuştur. Araştırmanın bulguları, kas-iskelet sistemi yaralanmaları ve gruplar arasındaki postüral stabilite performanslarındaki farklılıklar ile ilişkili olabilecek, harekete yatkınlığa bağlı postüral kontrol stratejilerine dair bilgi sunmaktadır.

#### Anahtar Kelimeler

*Yere İniş Kinetiği, Yer Tepki Kuvvetleri, Basınç Merkezi, Postüral Stabilite*

#### Key Words

*Landing Kinetics, Ground Reaction Forces, Center of Pressure, Postural Stability*

## GİRİŞ

Yerden havaya sıçrama ardından çift ya da tek ayak üzerine yere iniş ve denge sağlamayı içeren ardışık manevralar futbol, basketbol, voleybol gibi sporlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Başarılı bir yere iniş hareketi birçok istemli vücut hareketi gibi ekstremitelerin ve gövdenin istendik postüral oryantasyonunun korunması ile gerçekleşmektedir. İnsan postüral kontrolü; görsel, işitsel ve somatosensöriyel duylardan gelen bilgilerin de yardımıyla (Winter, 1995) önceden belirlenmiş bir alana inmek için; henüz ayaklar yerden kesilmeden önce vücut kütle merkezinin izleyeceği rotanın planlanması, havada uçuş safhasında vücut pozisyonunun kontrolü, yere temasın etkisiyle biriken enerjinin emilimi ve denge durumunun sağlanması ile yere iniş sonrası yeniden ayakta dik duruş pozisyonunun alınmasını içeren bir dizi hareket bileşeninin başarıyla gerçekleştirilmesi sağlar (McKinley ve Pedotti, 1992).

Yere iniş nedeniyle temas noktasında oluşan yer tepki kuvvetleri büyüklüğü ve bu kuvvetlerin yüklenme hızları (birim zamanda uygulanan kuvvet) kuvvet platformundan elde edilen kuvvet verileri ile değerlendirilebilmektedir. Yere iniş

took longer in volleyball players. The differences between groups were statistically significant. There was a tendency to increase in  $t_{DS}$  with the increase in  $VGRF_{max}$  and LR. Spearman rank correlation analysis revealed a moderate and a weak negative correlation between  $t_{DS}$  with both  $VGRF_{max}$  ( $r_s=-0.461$ ,  $p<0.001$ ) and LR ( $r_s=-0.276$ ,  $p<0.001$ ) respectively. COP parameters for quiet stance were not significantly different between groups. Contrary to  $COP_v$ , COP EA and Range were slightly higher in the novice group. The results of this study provide further insight into postural control strategies in skilled and novice subjects which might be related with vulnerability to potential musculoskeletal injuries and differences in postural stability performances.

ardından ayakta sakın duruş pozisyonuna geçiş sürecindeki dinamik ve statik postüral stabilite ise kuvvet platformu ile ölçülen kuvvet ve momentler dikkate alınarak hesaplanan (Formül 1 ve 2) basınç merkezinin (COP), yani yer tepki kuvvetleri (YTK) bileşkesinin uygulama noktasının değişimleri ile incelenebilmektedir. Sağlıklı bir birey ayakta sakın duruşta dahi COP yörüngesinde postüral salınım olarak adlandırılan sapmalar gözlenmekte ve bu değişimlere ilişkin parametreler (COP hızı, COP alanı gibi) statik ve dinamik postüral stabilite performansının göstergesi olarak ele alınmaktadır (Franz ve diğ., 2014; McKinley ve Pedotti, 1992; Ross ve Guskiwicz, 2003).

Yere temas anında ayaklara iletilen yer tepki kuvvetlerinin büyüklüğü, yürüme ya da koşma gibi aktivitelerde yer değiştirme hızına göre vücut ağırlığının 1.6-3 katı dolayında ölçülmüştür (Dufek ve Bates, 1990; Keller ve diğ., 1996). Dikey sıçrama ardından yere inişte vücut ağırlığının ortalama 2-4 katı (McNitt-Gray, 1993), cimnasikte havada takla hareketi ardından yere inişte ise tek ayağa etki eden YTK'nin dikey bileşeninin

(DYTK) büyüklüğünün vücut ağırlığının 10.5 katı olduğu bildirilmiştir (Panzer ve diğ., 1988).

Oluşan YTK'nin büyüklüğü ve hareketin tekrar sıklığının arttığı durumlarda kas iskelet sistemi yapılarında deformasyon ve yaralanmalar gözlenebilmektedir. Yere iniş hareketlerinin özellikle ayak bileğinde burkulma ve diz eklemünde ACL (anterior cruciate ligaman) yaralanmaları için risk faktörü olması birçok araştırmanın ortak bulgusu olması bakımından dikkat çekicidir (Boden ve diğ., 2000; Colby ve diğ., 2000; Noyes ve diğ., 1983a,b; Piasecki ve diğ., 2003; Yu ve diğ., 2002). YTK'nin iskelet sistemi üzerindeki etkilerini araştıran Zadpoor ve Nikooyan (2011), yere temas anında yükleme hızı büyüklüğünün alt ekstremitede stres kırığı oluşumu ile de ilişkili olduğunu göstermiştir.

Bahr ve Bahr (2014), 16-18 yaş grubu voleybolcularda müsabakalar boyunca erkeklerin saatte ortalama 62.2, kadınların ise 41.9 sıçrama hareketi gerçekleştirdiklerini saptamış ve toplam sıçrama yoğunluğunun yaralanmalar bakımından antrenman yoğunluğundan daha belirleyici bir risk faktörü olabileceğine işaret etmişlerdir. Sıçrama ve yere iniş hareketinin bu denli çok tekrar edildiği voleybol sporunda ayak bileği ve diz bölgesi yaralanmalarının sporcularda sık görülen sağlık problemlerinin başında gelmesi (Dufek ve Bates, 1991; Ferretti ve diğ., 1992) şaşırtıcı değildir. Sıçrama içeren sporlarda alt ekstremitede yaralanma oranının kadınlarda daha fazla olduğu da bilinmektedir (Boden ve diğ., 2000; Hewett ve diğ., 1996). Sıçrama ardından yere iniş hareketinde yükleme hızı büyüklüğü, hareketin tekrar sıklığı, cinsiyet ve anatomik yapı gibi faktörlerin yaralanma mekanizmasında etkili olduğu ifade edilmektedir (Hewett ve diğ., 2005; Salci ve diğ., 2004).

Yere temas anında yükleme hızı arttıkça (Nigg, 1985) ya da kontrol yeteneği düştükçe YTK büyüklüğü artma eğilimindedir (Zatsiorsky, 2000). Buna karşın, çoklu eklem ve kas koordinasyonu sayesinde yere temas sonucu açığa çıkan kuvvetlerin kas-iskelet sistemi yapılarına iletilme oranı önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Santello ve McDonagh, 1998). Özellikle alt eks-

tremitede, yaralanmalara neden olabilecek büyüklükteki yer tepki kuvvetlerini ve bu kuvvetlerin yükleme hızlarını düşürmek için; distalden proksimale iletim sırasına göre ayak bileği, diz, kalça eklemlerinde etkili kaslar ve eklem sabitliğinde görev alan kas-iskelet sistemi bileşenleri önemli rol oynamaktadır (Hargrave ve diğ., 2003). Yere iniş hareketinde kullanılan farklı stratejilerin (farklı eklem açılarının kullanılması, parmak ucu ya da topuk üzerine iniş gibi) yere temas ile açığa çıkan enerjinin emilimini değiştirdiği önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Cowley ve diğ., 2006; Fagenbaum ve Darling, 2003; Gokeler ve diğ., 2010; McLean ve diğ., 2007; van Dieen ve diğ., 2008). Yapılan egzersiz veya sporun türü (Cowley ve diğ., 2006; McNitt-Gray, 1993), yaralanma geçmişi (Gokeler ve diğ., 2010) ve deneyim (McNitt-Gray, 1993) gibi faktörlerin bireylerin farklı iniş stratejileri geliştirmesinde etkili olduğu da bilinmektedir.

Diğer yandan, yere iniş ardından hem dinamik hem statik postüral stabilitenin analizi yoluyla sensorimotor fonksiyonların kapsamlı şekilde incelenmesi mümkün olmaktadır (Fransz ve diğ., 2013). Alt ekstremitede spor yaralanmaları risk faktörlerinin değerlendirilmesinde yere iniş sonrası denge sağlamayı içeren postüral stabilite testlerine başvurulmaktadır (Fransz ve diğ., 2013; Fransz ve diğ., 2014; Hupperets ve diğ., 2009). Araştırmalar, yere temas anından dinamik ve statik postüral stabilite durumuna geçiş arasındaki sürenin, yere iniş hareketinin planlanması ve gerçekleştirilmesi boyunca izlenen nöromuskuler kontrol stratejisi ile azaltılabileceğini ortaya koymaktadır (McKinley ve Pedotti, 1992; Wikstrom ve diğ., 2008). Öte yandan, yere inişte dinamik postüral stabilite düzeyi düşük kişilerin, yere iniş öncesinde kasların erken aktivasyonu gibi herhangi bir nöromuskuler algısal hazırlık içerisinde bulunmadığı bulgusu (Wikstrom ve diğ., 2008) bireyler arasında yere iniş stratejilerinin farklılaştığını ve bu farklılığın sonraki postüral kontrol sürecini etkilediğini ortaya koymaktadır.

Bu bilgiler ışığında, YTK'nin kas iskelet sistemine etkisinin iniş stratejisine göre değiş-

ceği ve bu nedenle YTK ve postüral stabilite ile ilişkili parametrelerin harekete yatkın olan ve olmayan bireyler arasında farklılaşacağı ileriye sürülebilecektir. Bu araştırma temel olarak, kas-iskelet sistemi üzerinde YTK'nin neden olabileceği olumsuz etkileri azaltmak için yere iniş ve sıçrama hareketlerine yatkın olan kişilerin, bu hareketlere yatkın olmayan kişilere göre farklı bir yere iniş stratejisi izleyecekleri ve bu nedenle iki grup arasında yere iniş kinetiği açısından farklılık gözleneceği hipotezine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, voleybol oynayan ve sağlıklı sedanter bireylerden oluşan iki grupta yere iniş hareketi kinetik açıdan incelenmiştir. Araştırmanın ikinci hipotezi ise harekete yatkın olan kişilerde yere iniş ardından dinamik ve statik postüral stabilite performansının sedanter bireylere göre daha iyi olacağıdır. Bu hipotezi test etmek için, yere iniş ardından vücut dengesinin korunması ve sürdürülmesi sürecinde postür kontrolü göstergesi olarak DYTK zamansal değişimi ve COP değişimleri iki grup arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

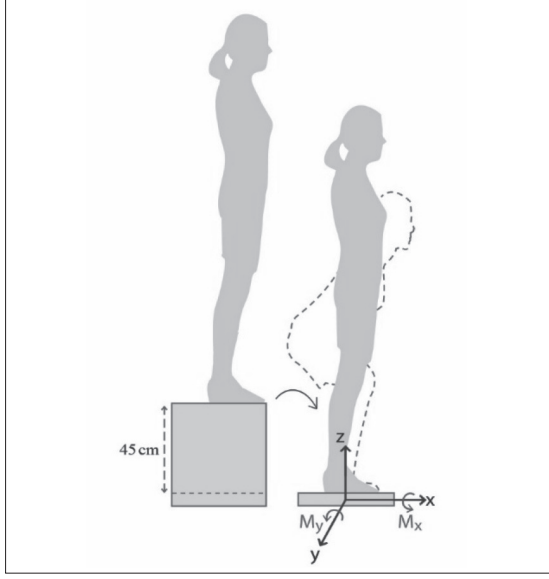
## YÖNTEM

**Araştırma Grubu:** Çalışmaya, asgari koşul olarak, son üç yıldır ve haftada üç kez antrenman yapıyor olma kriterini sağlayan 6 kadın voleybol oyuncusu ile aynı cinsiyette düzenli fiziksel aktiviteye katılmayan 6 sağlıklı üniversite öğrencisi gönüllü olarak katılmıştır. Bu çalışmaya özgü olarak "Voleybol oyuncusu" ve "Sedanter" olarak tanımlanan iki gruba ait tanımlayıcı istatistikler, karşılaştırmalı olarak ve sırasıyla; yaşları:  $19.3 \pm 2.1$  ve  $20.6 \pm 2.4$  yıl, boyları:  $170.5 \pm 6.5$  ve  $159.4 \pm 5.7$  cm, vücut kütleleri:  $60.2 \pm 7.1$  ve  $55.0 \pm 7.2$  kg olarak belirlenmiştir. Çalışmanın amacı, veri toplama yöntemleri ve potansiyel riskler hakkında yazılı ve sözel olarak bilgilendirme yapılarak katılımcıların çalışmaya katılmak istediklerine dair yazılı onayları alınmıştır. Tüm katılımcılar sağlıklarına olumsuz etkisi olabilecek ya da çalışmanın sonuçlarını etkileyebilecek herhangi bir kas-iskelet sistemi yaralanması ya

da hastalığa sahip olmadıklarını beyan etmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

**Araştırma Protokolü:** Bu çalışmada bir platformdan yere iniş sırasındaki mekanik yüklenme ve ardından ayakta sakin duruş pozisyonuna geçiş sürecindeki dinamik ve statik postüral stabilite, kuvvet platformu verileri ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla, çift ayak temas edecek şekilde üzerinde durulabilen bir atlama platformu, ön kenarı kuvvet platformu yüzeyinden 45 cm yükseklikte ve kuvvet platformu merkezinin 40 cm gerisinde (Şekil 1) yere sabitlenmiştir. Seçilen atlama platformu yüksekliği voleybolda blok hareketinde yerden yükselme mesafesi olarak bildirilen 35-65 cm aralığındadır (Dufek ve Bates, 1990). Atlama platformu üzerinde yalın ayak ya da çorap giymiş olarak dik duran katılımcılardan (ayak başparmakları atlama platformunun kuvvet platformuna yakın kenarında (Şekil 1), iki ayak ile platformu ittirip çift ayak ile havalandırılarak kuvvet platformu üzerine (yaklaşık olarak merkeze) çift ayak ile inmeleri istenmiştir (McKinley ve Pedotti, 1992). Yere iniş ardından olabildiğince kısa sürede dengeye ulaşmaya çalışarak sonraki 20 s boyunca mümkün olduğunca hareketsiz şekilde dengelerini korumaları (sakin duruş) komutu verilmiştir (Fransz ve diğ., 2014).

Her katılımcı bir dakika ara ile 16 tekrar gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan ölçümler süresince iki ellerini birbirini üzerinde, sternum hizasında göğüs üzerinde ve her iki tarafta dirsekleri gövdelerine temas edecek şekilde tutmaları istenmiştir. Katılımcıların test düzeneğine alışması için ölçümler öncesinde ikişer kez yere iniş denemesi yapmaları sağlanmıştır. Yere temas anında denge kaybı nedeniyle kuvvet platformu dışına çıkılan veya kuvvet platformu üzerinde adımlama yapılan denemeler tekrar edilmiştir. Yalnızca iki katılımcı birer hatalı deneme yapmış ve dinlenme periyodu ardından tekrar etmeleri sağlanmıştır.



**Şekil 1.** Araştırma düzeneği gösterimi (Ölçümlerde atama platformu ön kenarı kuvvet platformu yüzeyinden 45 cm yükseklikte ve kuvvet platformu merkezine 40 cm geride konumlandırılmıştır.)

**Veri Toplama Araçları, Verilerin Toplanması ve Analizi:** 6 serbestlik derecesine sahip kuvvet platformu (AMTI OR-6) ile veri toplama kartı (NI, USB-6225) analog bağlantısı yapılarak LabVIEW programında çalışmaya özgülü oluşturulan veri toplama ara yüzü ile kuvvet ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) ve moment ( $M_x$ ,  $M_y$ ) verileri 2 kHz örnekleme hızında kayıt edilmiştir. Kuvvet platformu koordinat sistemi Şekil 1’de gösterilmiştir. Sinyal işleme ve verilerin analizinde MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Seçilen parametreler ve verilerin analizi **Yere İniş Kinetiği** ve **Dinamik ve Statik Postüral Stabilite** başlıkları altında aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

**Yere İniş Kinetiği:** Yere iniş kinetiğinin incelenmesi amacıyla her deneme için DYTK’nin zaman içindeki değişim grafiğine göre; yere iniş temas anı ( $t_0$ ), temastan sonra dikey yönde oluşan en yüksek YTK değeri ( $DYTK_{pik}$ ), temas anı ile bu değere ulaşılan zaman arasındaki süre ( $t_{pik}$ ) belirlenmiştir (Şekil 2). Yükleme hızı (YH),  $DYTK_{pik}$  değerinin  $t_{pik}$  değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.  $DYTK_{pik}$  ve YH değerleri katılımcıların vücut ağırlığına bölünerek normalize edilmiştir.

**Dinamik ve Statik Postüral Stabilite:** Yere iniş sonrası dinamik postüral stabilitenin değerlendirilmesinde her deneme için DYTK-zaman grafiğine göre belirlenen yere iniş temas anı ( $t_0$ ) ile aynı grafikte DTYK’nın katılımcının 1 vücut ağırlığına (VA; vücut kütlesi ile yerçekimi kuvveti çarpımı) eşit olduğu zaman arasındaki süre ( $t_{DS}$ ) belirlenmiştir.

Statik postüral stabilitenin analizi için katılımcıların her bir denemede yere iniş ardından dinamik postüral stabilitenin sağlandığı süreyi ( $t_{DS}$ ) takip eden 20 saniyelik statik postüral stabilite periyodunda ( $t_{SS}$ ) COP ile ilişkili üç parametre (COP Hızı, COP Elips Alanı ve COP Değişim Aralığı) incelenmiştir. Her parametre aşağıda ilgili başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır. Postüral stabilite analiz periyodlarının belirlenmesinde kullanılan zaman noktalarının örnek gösterimi Şekil 2’de sunulmuştur. COP ile ilgili parametrelerin hesaplanmasından önce, kuvvet platformundan toplanan kuvvet-moment zaman serileri dördüncü derece, gecikmesiz ve 10 Hz kesme frekansına sahip bir Butterworth alçak geçiren filtreden geçirilmiştir.

- **COP Koordinatları:** Basınç merkezinin (COP) izlediği yörüngeyi ifade eder. Anterior-posterior (AP:  $COP_x$ ) ve medial-lateral (ML:  $COP_y$ ) yönlerdeki COP değişimlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formüller (Formül 1 ve 2) kullanılmıştır.  $d_z$ , kuvvet platformu yüzeyinin sensör merkezine dikey uzaklığını (42.1 mm) temsil eder.

$$COP_x = -(M_y + F_x \cdot d_z) / F_z \quad (1)$$

$$COP_y = (M_x - F_y \cdot d_z) / F_z \quad (2)$$

- **COP Hızı:** COP’nin izlediği yörüngenin toplam uzunluğu ( $COP_{U}$ ) belirlenmiş ve toplam ölçüm süresine ( $T_{COP}$ ) bölünerek  $COP_{HIZ}$  değeri hesaplanmıştır (Formül 3).  $i$ , veri noktasını;  $n$ , örneklenen toplam veri sayısını;  $T_{COP}$ , toplam ölçüm süresini temsil eder.

$$COP_U = \sum_{i=1}^{n-1} [(COP_x(i+1) - COP_x(i))^2 + (COP_y(i+1) - COP_y(i))^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$COP_{Hız} = COP_U / T_{COP} \quad (3)$$

- **COP Elips Alanı ve COP Değişim Aralığı:** Her bir deneme için vücut salınımlarına ait COP yörüngesini oluşturan noktaların merkezini %95 olasılık ile içinde barındıran (%95 güvenli) elips alanı (EA) her eksen için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Oliveira ve diğ.,1996). Salınım büyüklüğünün belirlenmesinde ise AP yönünde maksimum ve minimum COP değerleri arasındaki fark hesaplanarak  $COP_x$  değişim aralığı ( $COD_{x\_DA}$ ) belirlenmiştir (Formül 4).

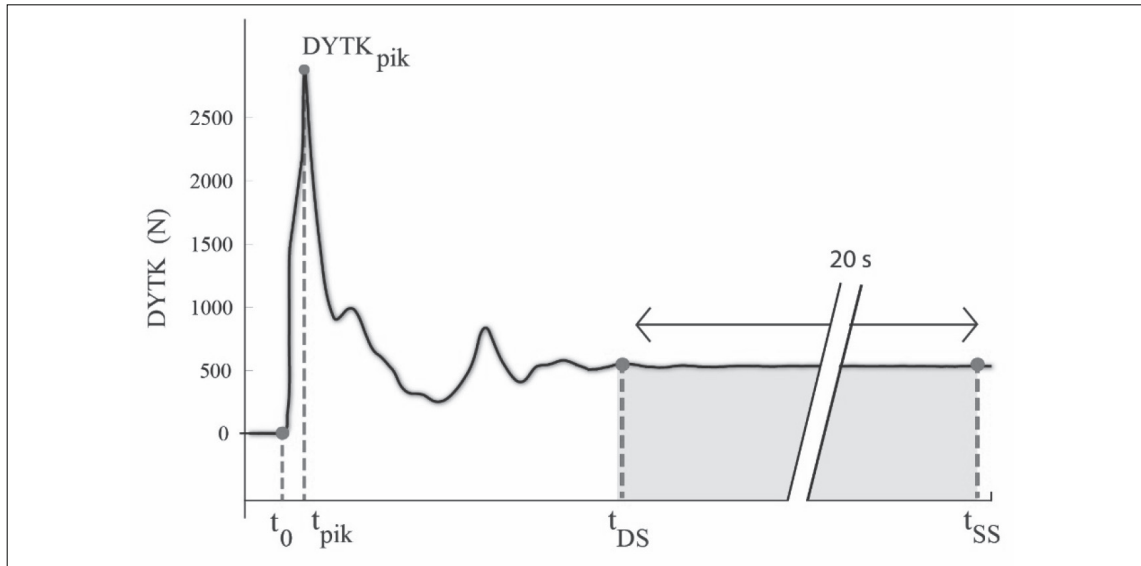
$$COP_{x\_DA}(mm) = \text{Max}(COP_x) - \text{Min}(COP_x) \quad 4$$

**İstatistiksel Analizler:** Yere iniş kinetiği, dinamik ve statik postüral stabilite göstergesi olarak seçilen değişkenlerin ortalama, standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Her bir değişkenin normallik varsayımı Shapiro-Wilk testi ile analiz edilmiş ve verilerin normal dağılım göstermediği bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Bağımsız iki grup arasında fark olup olmadığına ilişkin analizlerde örneklem büyüklüğü ve verilerin normal

dağılım göstermemesi göz önüne alınarak, parametrik olmayan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Tüm denemeleri içerecek şekilde yere iniş kinetiği ile dinamik postüral stabilite değişkenlerinin normallik varsayımları Kolmogorov-Smirnov testi ile analiz edilmiş ve verilerin normal dağılmadığı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Yere iniş kinetiği ile dinamik postüral stabilite değişkenlerinin arasındaki olası ilişkinin incelenmesinde verilerin pozitif çarpık dağılım göstermesinden dolayı Spearman sıra korelasyon analizine başvurulmuştur. İstatistiksel analizlerde ise SPSS 15.0 paket programı kullanılmış, anlamlılık düzeyi 0.05 olarak seçilmiştir.

## BULGULAR

Yere iniş kinetiğinin analizinde, yere temas anına göre  $DYTK_{pik}$  değerine ulaşılan süre ( $t_{pik}$ ) iki grup arasında benzer bulunmasına karşın voleybol oyuncusu gruba kıyasla sedanter grupta gerek normalize edilmemiş gerek vücut ağırlığına göre normalize edilmiş ortalama  $DYTK_{pik}$  yaklaşık 1.5 kat, ortalama YH ise 1.8 kat daha yüksek değerlere ulaşmıştır (Tablo 1).  $DYTK_{pik}$  ve YH değerleri için voleybol oyuncusu ve sedanter grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).



**Şekil 2.** DYTK-zaman grafiğinde analiz periyodlarının belirlenmesinde kullanılan zaman noktalarının örnek gösterimi ( $t_0$ : yere iniş temas anı,  $t_{DS}$ : dinamik postüral stabilite süresi,  $t_{SS}$ : statik postüral stabilite süresi,  $DYTK_{pik}$ : dikey yöndeki en yüksek DYTK değeri).

**Tablo 1.** Voleybol oyuncularını ve sedanter katılımcıların yere iniş kinetiğinin karşılaştırması (veriler ortalama, standart sapma (SS) ve değer aralığı olarak verilmiştir).

		Voleybol Oyuncusu (n=6)	Sedanter (n=6)	p
DYTK <sub>pik</sub> (N)	Ortalama (SS) Değer Aralığı	2511.66 (762.56) 1916.14-3454.71	3766.10 (825.10) 3104.03-4256.43	0.001
DYTK <sub>pik</sub> * (VA)	Ortalama (SS) Değer Aralığı	4.33 (1.56) 3.16-6.74	7.05 (1.66) 6.93-8.63	0.015
t <sub>pik</sub> (ms)	Ortalama (SS) Değer Aralığı	59.33 (15.75) 51.53-71.41	49.33 (11.01) 37.78-62.97	0.132
YH (VA·s <sup>-1</sup> )	Ortalama (SS) Değer Aralığı	81.39 (46.28) 28.67-232.75	150.96 (70.73) 70.75-572.48	0.004

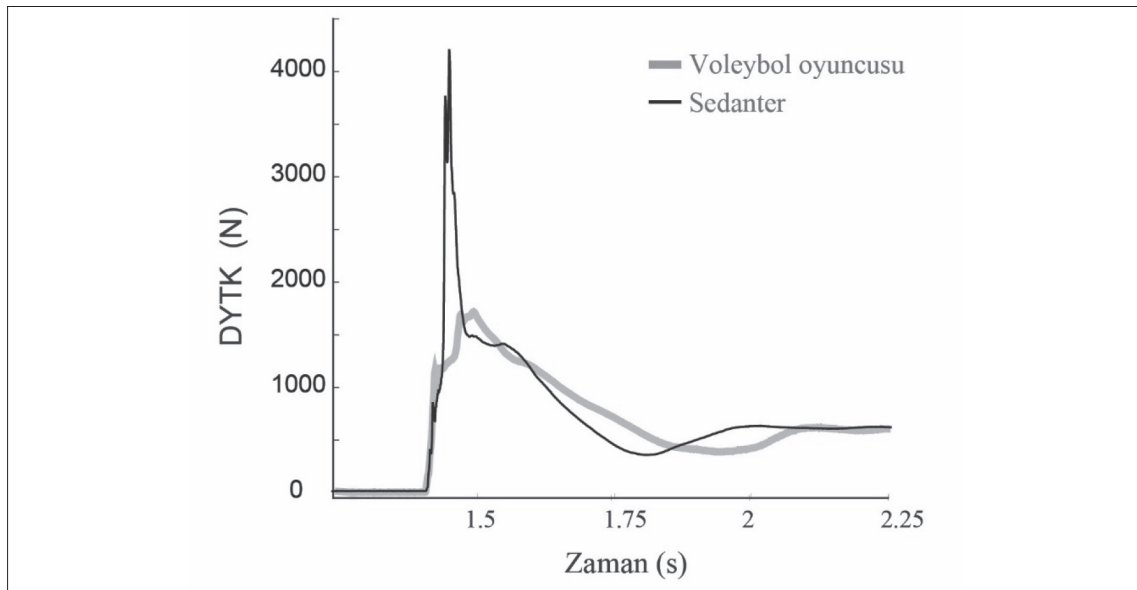
\* DYTK<sub>pik</sub> değeri her katılımcının vücut ağırlığına (VA) göre normalize edilmiştir.

Gruplara ait DYTK<sub>pik</sub>, t<sub>pik</sub> ve YH değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler ve gruplar arası farkın istatistiksel anlamlılık düzeyi Tablo 1’de sunulmuştur. Yere iniş hareketinde dikey yönde oluşan yer tepki kuvveti davranışı için voleybol oyuncusu ve sedanter grupta yer alan birer katılımcıya ait temsili gösterim Şekil 3’te yer almaktadır.

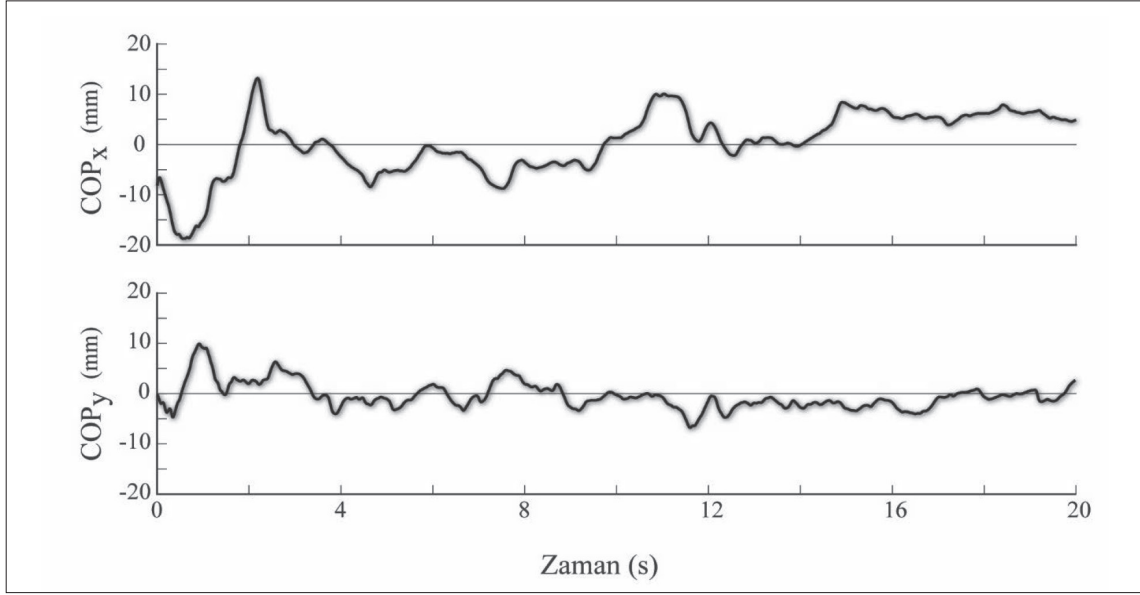
Araştırmada dinamik postüral stabilite göstergesi olarak değerlendirilen t<sub>DS</sub> süresi voleybol oyuncusu grupta 1.37±0.36 s, sedanter grupta 0.91±0.22 s olarak bulunmuştur. İki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır

(p=0.001). Buna göre, sedanter bireylerin yere iniş ardından ayakta dikey duruşta hareket-siz konuma daha çabuk geldikleri gözlenmiştir. YH’nın düşük olduğu denemelerde t<sub>DS</sub> süresi daha uzundur. Korelasyon analizinde 12 katılımcının toplam 192 denemesi için, t<sub>DS</sub> ile DYTK<sub>pik</sub> ve YH arasında, sırasıyla, orta (r<sub>s</sub>=-0.461, p<0.000) ve zayıf (r<sub>sz</sub>=-0.276, p<0.000) düzeyde negatif ilişki saptanmıştır.

Statik postüral stabilitenin değerlendirildiği analiz periyodunda COP<sub>x</sub> ve COP<sub>y</sub>’nin zamana göre değişimlerinin bir katılımcı için temsili gös-

**Şekil 3.** Yere iniş hareketinde DYTK davranışı (Her iki gruptan birer katılımcıya ait temsili gösterim)



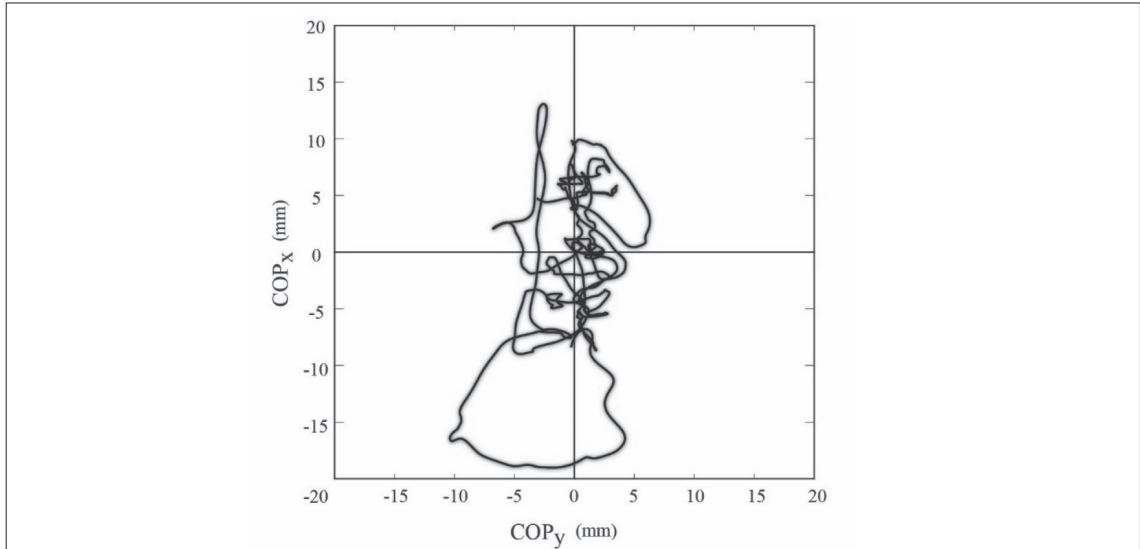


**Şekil 4.** Anterio-Posterior ( $COP_x$ ) ve Medio-Lateral ( $COP_y$ ) yönde salınımların örnek gösterimi

terimi Şekil 4'te, aynı denemenin COP değişimi stabiliogram gösterimi ise Şekil 5'te sunulmuştur. Her iki şekilde görüldüğü gibi mümkün olduğunca hareketsiz durmaları istendiğinde dahi tüm katılımcılar COP etrafında, sagittal ve frontal ekseninde gerçekleşmesi beklendiği gibi, vücut salınımı hareketleri sergilemiştir.

Statik postüral stabilitenin değerlendirilmesi amacıyla yere iniş sonrası ayakta sakin durumda vücut salınımı büyüklüğünün göstergesi

olarak hesaplanan EA ve DA değişkenlerinin seditanter grupta daha yüksek ortalama değerlere ulaştığı görülmüştür, ancak gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. COP değişim hızı bakımından da iki grup arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir. Dinamik ve statik postüral stabilitenin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin grup ortalamaları ve gruplar arası farkın istatistiksel analizinde ulaşılan  $p$  değerleri her iki grup için Tablo 2'de sunulmuştur.



**Şekil 5.** Statik postüral stabilite periyodunda COP koordinatı yer değişimi grafiği (stabiliogram) örnek gösterimi



**Tablo 2.** Voleybol oyuncularını ve sedanter katılımcıların dinamik ve statik postüral stabilite parametrelerinin karşılaştırması (veriler ortalama ve parantez içinde standart sapma değeri ile verilmiştir).

	<b>Voleybol oyuncusu</b>	<b>Sedanter</b>	<b>p</b>
$t_{DS}$ (s)	1.37 (0.36)	0.91 (0.22)	0.001
EA (mm <sup>2</sup> )	200.81 (82.90)	249.85 (126.30)	0.082
COP <sub>Hız</sub> (mm s <sup>-1</sup> )	13.35 (1.61)	12.55 (1.69)	0.070
DA (mm)	37.91 (15.85)	40.01 (14.95)	0.267

## TARTIŞMA

Bu araştırmada voleybol oyuncularının ve sedanter katılımcıların ; i) yere iniş manevrasını sırasında maruz kaldıkları yer tepki kuvvetlerinin büyüklük ve zamansal yapısı, ii) yere iniş hareketi sonrasında sakin duruşa geçiş süreleri ile sakin duruş sırasında sergiledikleri postüral stabilite performansları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Araştırma bulguları, harekete yatkın olan ve olmayan kişiler arasında yere iniş kinetiği açısından farklılık gözleneceği hipotezini desteklemektedir. Yere iniş nedeniyle sedanter grubun maruz kaldığı ortalama DYTK<sub>pik</sub> değerleri (7.05±1.66 VA), voleybol oyuncusu gruba ait değerlere göre (4.33±1.56 VA) yaklaşık 1.5 kat fazla bulunmuştur. Az sayıda katılımcı ile (8-15 aralığında) gerçekleştirilen ve yüksekten (31-60 cm aralığında) çift ayak yere inişin incelendiği araştırmalarda DYTK<sub>pik</sub> değerinin yapılan spor dalına (Cowley ve diğ., 2006), antrenman düzeyine (McNitt-Gray, 1993) ve cinsiyete (Hewett ve diğ., 1996; Salci ve diğ., 2004) bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Buna karşın, geniş bir katılımcı sayısı ile (234 genç kadın ve erkek) 30 cm yükseklikten yere inişte oluşan DYTK'ni inceleyen McNair ve Prapavessis (1999), sportif aktiviteye katılım düzeyine (rekreasyonel ve yarışmacı), cinsiyete ya da yere iniş içeren/içermeyen sporlara katılıma göre yaptıkları gruplar arası karşılaştırmaların hiçbirisinde anlamlı farklılığa rastlamamıştır. Aynı araştırmada, tüm katılımcıların DYTK<sub>pik</sub> değeri ortalaması 4.5±1.7 VA bulunurken, 80 kadın katılımcının DYTK<sub>pik</sub> değerleri 2.0-10.0 VA aralığında, ortalama 4.2 ±1.4

VA olarak saptanmıştır (McNair ve Prapavessis, 1999). Diğer yandan, alt ekstremite patolojisine sahip bireylerin tolere edebileceği bir yükseklik olan (McNair ve Prapavessis, 1999), 30 cm'den yere inişte dahi farklı iniş stratejisi kullanıldığında DYTK<sub>pik</sub> değerlerinin 4.1-6.7 VA aralığında ölçüldüğü bildirilmiştir (Self ve Paine, 2001). En düşük değer parmak ucuna iniş, en yüksek değer ise topuğa iniş denemelerine aittir. Araştırmamızda olduğu gibi 45 cm platform yüksekliğinden, 2 erkek ve 2 kadın cimnastikçiye, yere ilk teması ayak parmak uçlarına yakın bir bölge üzerine yapmaları ve darbenin etkisini azaltmak için dizlerini bükmeleri söylendiği durumda dahi DYTK<sub>pik</sub> değerleri, 5.0-7.0 VA arasında bulunmuştur (Özgüven ve Berme, 1988). Katılımcılara iniş stratejisi ile ilgili herhangi bir yönlendirmenin yapılmadığı bu araştırmada da tüm katılımcıların DYTK<sub>pik</sub> değer aralığının benzer olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra platform yüksekliği arttığında yere inişte oluşan DYTK<sub>pik</sub> değerinin arttığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (McNitt-Gray, 1993; Salci ve diğ., 2004).

Dufek ve Bates (1990) yaralanma riskinin azaltılmasında yere temas ile oluşan DYTK'in zamana yayılmasının önemine dikkat çekmektedir. Bu araştırmanın bulgularına göre, sedanter grupta yere temas ardından DYTK'nin maksimum değere ulaşması voleybol oyuncusu gruba göre yaklaşık 1.8 kat hızlı gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda, vücut ağırlığına göre normalize edilen yükleme hızları sedanter grupta 150.96±70.73 VA·s<sup>-1</sup>, voleybol oyuncusu grupta ise 81.39 ±46.28 VA·s<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

tir. Decker ve diğ. (2003), 60 cm platformdan yere inişte rekreasyonel düzeyde voleybol ya da basketbol oynayan erkeklerde yükleme hızını  $162.1 \pm 60.8$ , kadınlarda ise  $156.6 \pm 75.7$  VA·s<sup>-1</sup> olarak saptamıştır (Decker ve diğ., 2003). Puddle ve Maulder (2013), 75 cm yükseklikten yere inişte erkek serbest koşu (parkour) sporcularında yükleme hızını  $154.3 \pm 96.3$  VA·s<sup>-1</sup> bulmuştur. Aynı sporcular aynı yükseklikten yere iniş hareketini yerde takla hareketi ile birleştirdiğinde ise grup ortalaması  $64.1 \pm 59.8$  VA·s<sup>-1</sup> değerine gerilemiştir. Sıçrama sonrası tek ya da çift ayak üzerine yere iniş arasındaki farklılık incelendiğinde, 11 kadın voleybol oyuncusunun verilerine göre, dominant ayak ile yerden yükselerek tek ayak üzerine inildiğinde yükleme hızı  $136.1 \pm 48.7$  VA·s<sup>-1</sup>, çift ayak ile inildiğinde ise  $93.0 \pm 29.3$  VA·s<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Tillman ve diğ., 2004). Bu araştırmada ulaşılan veriler ve yukarıda özet bilgileri sunulan önceki araştırma bulguları, yükleme hızının yere inilen yükseklik, yüzey, izlenen strateji, harekete yatkınlık ve çift/tek ayak ile yere temas faktörlerine göre farklılaştığını göstermektedir.

DYTK<sub>pik</sub> değerine yere temastan sonra ne kadar geç ulaşırsa yükleme hızı düşeceğinden kas-iskelet sistemine olası olumsuz etkilerinin azaltılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Kas-iskelet sistemi rahatsızlığı olarak alt ekstremitede stres kırığı oluşumu örneğinde, YTK'nin rolüne odaklanan bir meta analiz çalışması (Zadpoor ve Nikooyan, 2011), yükleme hızı etkisini ortaya koyması bakımından dikkate değer bir bilgi sunmaktadır. Özetle, koşu adımlaması sırasında tek ayağa etki eden yükleme hızının stres kırığı gözlenen grupta kontrol grubuna göre daha yüksek ve gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gösterilmiştir. Buna karşın DYTK değerlerinin gruplar arasında ayrıştırıcı bir fark ortaya koymaması bulgusu ise ancak, kemiğe etki eden dışsal kuvvetlerin (YTK bileşenleri) yanı sıra kemik yapısında olası bireysel farklılıklar ve yere temasın etkisiyle kemiğe etki eden iç kuvvetlerin (kas, tendon, ligamanların rolü) analiziyle kapsamlı şekilde yorumlanabilecektir.

Ayrıca, sunulan bu araştırmanın bulguları kinetik verilerle sınırlı olmasına karşın, yere inişte alt ekstremitte eklem açılarındaki değişkenliğin, iki grup arasında yere iniş kinetiği büyüklük ve zamansal yapısında gözlenen farklılığın sebebi olabileceği de göz ardı edilmemelidir. Dizlerin biraz bükülü olduğu (diz açısı 75°-110° aralığında) yere iniş tekniği uygulandığında YTK dikey bileşeninin daha uzun sürede, daha düşük pik değere ulaştığı bildirilmiştir (Dufek ve Bates, 1990). Alt ekstremitte eklem açılarının, eklem etki eden kuvvet ve momentlerin iniş kinetiğine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Lees, 1981; Self ve Paine, 2001). Örneğin, özellikle yere iniş hızı ya da yere temas etkisi arttığında cimnastikçilerin rekreasyonel sporculara göre ayak bileği ve kalça eklemi ekstensör momentinde birim zamanda daha büyük bir artış sağlayarak üstün denge sağlama becerisi sergilemesi (McNitt-Gray, 1993), yoğun antrenmanlar sonucu harekete yatkınlık kazanmaları ile açıklanabilecektir. Antrenmanlı kişilerde ekstensör kasların birim zamanda daha fazla kuvvet üretme kapasitesine sahip olması da bu becerinin sergilenmesinde önemli bir sinir kas sistemi adaptasyonudur. Bunun yanı sıra tıpkı erkek cimnastikçilerde gözlemlendiği gibi (McNitt-Gray, 1993), erkek voleybolcularda da diz ekstensör momenti yere iniş hızından etkilenmemiş, bunun yanı sıra, ayak bileği ya da kalça eklemine göre oldukça düşük değerlere sahip olduğu gözlenmiştir (Salci ve diğ., 2004). Aynı çalışmada kadın voleybolcularda ise yere iniş hızı arttığında diz fleksiyon açısı ile birlikte diz ekstensör momentinin de artış gösterdiği bulunmuştur. Hareket kinematığının yere inişte oluşan YTK değerlerinin artmasına neden olabileceği dikkate alındığında, harekete yatkınlık ya da cinsiyete göre değişen yere iniş stratejilerinin özellikle kadınlarda sık karşılaşılan ACL yaralanmaları mekanizmasında etkili olabileceği de ileriye sürülebilecektir.

Yere iniş ardından, çarpma niteliğindeki yer tepki kuvvetlerinin ortadan kalktığı ve yalnızca düşük frekanslı salınımların gözlemlendiği denge durumuna ulaşılan ana kadar geçen dinamik postüral stabilite periyodu, sedanter gruba kıyasla voleybol oyuncusu grupta daha uzun sür-

müştür. İki grup arasında gözlenen bu farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır. Ayak bileğinde kronik insabilite sorunu olan kişilerde olmayanlara göre yere inişte dinamik postüral stabilitenin daha uzun sürdüğü gözlenmiştir (Gribble ve Robinson, 2009; Ross ve diğ., 2002). McKinley ve Pedotti (1992), voleybol oyuncusu ve sedanter iki grupta 45cm'den yere inişte dinamik postüral stabilite süresi bakımından belirgin bir farklılık gözlemezken, bu safhayı daha kısa sürede tamamlayan katılımcıların yere iniş öncesinde ayak bileğinde fleksör ve ekstensör rol üstlenen büyük kasların aktivitesini arttırdığını ortaya koymuştur (McKinley ve Pedotti, 1992). Bu bilgiler ışığında, araştırmaya katılan sedanter grupta yere iniş öncesinde fleksör ve ekstensör kasların koaktivasyonu nedeniyle hareket esnekliğinin azaltılarak  $DYTK_{pik}$  değerlerinin artmış olması, buna karşın dinamik postüral stabilite süresinin kısalmış olması muhtemeldir.

Dinamik postüral stabilitenin sağlandığı anı takip eden 20 saniyelik sakın duruş süresince statik postüral stabilite performansı sedanter grupta voleybol oyuncularına kıyasla daha düşüktür. Daha fazla salınım sergileyen sedanter bireyler COP değişim aralığı ve COP yörüngesi alanı bakımından daha büyük değerlere sahip iken, yalnızca COP hızı voleybol oyuncusu grupta sedanter gruba göre biraz yüksek bulunmuştur. Buna karşın, iki grup arasında statik postüral stabilitenin farklılaşacağı hipotezini destekleyecek yeterli kanıt ulaşılmamıştır. Voleybol oyuncularının 20 s süren ayakta denge performansının incelendiği bir araştırmada (Kuczyski ve diğ., 2009) erkek sporcularda her iki yönde (AP ve ML) COP değişim aralığı, yaş ve cinsiyet eşleştirmesine göre seçilen kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur. Aynı çalışmada, COP hızının ise sporcularda ( $9.9 \pm 2.7 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ), fiziksel olarak aktif katılımcılara göre ( $6.7 \pm 2.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) yüksek olduğu saptanmış ve gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Erkek ve kadın voleybol oyuncularının katıldığı 60 s süren ayakta sakın duruş performansını inceleyen bir diğer çalışmanın bulgularına göre de hem COP hızı hem de COP yörüngesi alanı sporcularda

kontrol grubuna göre daha yüksektir (Agostini ve diğ., 2013). Statik stabilite performansına ilişkin çelişkili bulgular, sporcularda sakın duruşun denge performansı kriteri olarak kullanılmasının yanıltıcı olabileceği düşüncesini desteklemektedir. Sporcularda sakın duruşta COP gezinim alanı ve COP değer aralığının kano ve kayak (Stambolieva ve diğ., 2012), buz pateni (Alpini ve diğ., 2008), voleybol (Agostini ve diğ., 2013) branşlarında faal sporcu gruplarında yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu ortak bulgunun, voleybol oyunu içerisinde statik durumdan hızlı şekilde harekete geçme becerisi gelişmiş olan sporcuların harekete esneklik sağlamak üzere sergilediği bir postüral adaptasyon olabileceği ileri sürülmektedir (Agostini ve diğ., 2013). Buna karşın, dinamik ve postüral stabilite performanslarının ayak bileğinde fonksiyonel stabilite sorunu olan bireyler ile sağlıklı kişiler arasında ayırt edici bir bilgi sunduğu ve klinik muayenede teşhis amaçlı kullanılabileceği ileriye sürülmektedir (Ross ve Guskiewicz, 2003). Örneğin, tek ayak üzerinde 20 s sakın duruş için hesaplanan COP hızı, ayak bileği yaralanması hikayesine sahip katılımcılardan oluşan grupta sağlıklı gruba göre yüksek değerler sergilemiştir.

Sadece spor ve antrenman geçmişi değil oyun içerisinde üstlenilen farklı roller için (voleybolda oyun kurucu, libero, pasör, smaçör rolleri gibi) farklılaşabilen antrenman içeriği de grup içi postüral stabilite performansını etkileyebilecektir. Diğer yandan harekete yatkınlık düzeyi ya da yüksekliğe bağlı olarak yere iniş hızının değişmesine karşın özellikle DYTK profilinde gözlenen kinetik tepkinin zamansal yapısının tekrarlar arası benzerliği, tüm katılımcılar için ortak bir iniş stratejisinin olduğu ve yalnızca ilgili parametrelerin büyüklük değerlerini belirleyen katsayıların harekete yatkınlığa göre değişiklik gösterdiği şeklinde yorumlanabilmektedir (McNitt-Gray, 1993).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, yere iniş hareketi sedanter bireyler için günlük yaşamda ve sporcular için müsabaka ya da antrenmanlarda kullanılan ve yer ile

temas nedeniyle alt ekstremitenin farklı büyüklükte kuvvetlere maruz kaldığı bir harekettir. Yer tepki kuvveti büyüklüğü ve yükleme hızının hem kadın voleybol oyuncularında hem de sedanter bireylerde alt ekstremiteye yönelik kas-iskelet sistemi yaralanmalarına neden olduğu ve bu yüklerin kinematik unsurlardan etkilendiğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu nedenle, harekete yatkın grupta olduğu gibi kişilerin yere iniş güvenli şekilde yapabilecekleri teknik çalışma ve kuvvetlendirme rutinlerine katılmaları ile yere iniş stratejisi geliştirebilecekleri ve yere temasın olumsuz etkilerini azaltabilecekleri düşünülmektedir. Yaralanmaların önlenmesi bağlamında, grup ortalamasından ziyade, her bireyin yere inişinin kinetik analiziyle sonuçların birebir yorumlanması önemli görünmektedir. Yene inişte dinamik postüral stabilite süresiyle  $DYTK_{pik}$ 'nin düşük olması ilişkili görünmemektedir. Önceki araştırmaların bulguları ile yorumlandığında, yere iniş öncesinde erken algısal motor hazırlığın ve hareket sırasında eklemlerdeki hareket açısı genişliğinin, denge durumuna geliş süresini arttırdığı düşünülmektedir. Buradan yola çıkarak, dinamik postüral stabilite süresi ve yer tepki kuvvetleri arasında bir "zaman-maliyet" ilişkisinden söz edilebilir. Özetle, bir sonraki harekete başlamak için denge durumuna daha hızlı geçebilmek ya da oluşan büyük yer tepki kuvvetleri ile baş etmek arasındaki tercih, performans süresinin kısılması ya da yaralama riski olarak geri dönme potansiyeline sahiptir.

Araştırmada kullanılan platform yüksekli-

ğinin sabit olması, sporcu grubun sınırlı sayıda kadın voleybol oyuncusundan oluşması ve bu nedenle cinsiyete, spor dalına ya da oyun içerisindeki rollerine göre ayırım yapılmaması, iniş stratejisine ışık tutabilecek hareket kinematığı ve kassal aktivite düzeyinin değerlendirilmemesi, yüklerin azaltılmasında etkili olacağı düşünülen antrenman programı etkisi gibi unsurların incelenmemesi sunulan araştırmanın sınırlılıkları içerisinde yer almaktadır. Ayrıca, yer çekimi etkisinin azaltılmasıyla doğru orantılı olarak yere temas anında  $DYTK_{pik}$  ve YH'nın lineer olarak azaldığının bilinmesi nedeniyle (Grabowski ve Kram, 2008), bu araştırmada yalnızca vücut kütlelerinin etkisini elimine etmek için, önceki çalışmalar ile benzer şekilde, yer tepki kuvvetleri ve yükleme hızı sadece vücut ağırlığına göre normalize edilmiştir. Gruplar arasında boy farkından kaynaklanabilecek olası etki araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır. Tüm bu sınırlılıkların sonraki araştırmalarda göz önüne alınarak, araştırma dizaynına dahil edilmesinin bu konudaki bilgi birikimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Yazar Notu:** Bu araştırma TÜBİTAK 115S535 nolu proje desteği kapsamında gerçekleştirilmiştir.

#### Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Dr. Pınar ARPINAR AVŞAR

Hacettepe Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,  
Biyomekanik ve Motor Kontrol ABD

E-posta: [parpinar@hacettepe.edu.tr](mailto:parpinar@hacettepe.edu.tr)

Telefon No: 0 312 780 54 94

#### KAYNAKLAR

1. **Agostini V, Chiaramello E, Canavese L, Bredariol C, Knaflitz M.** (2013). Postural sway in volleyball players. *Human Movement Science*, 32(3), 445-456.
2. **Alpini D, Mattei V, Schlecht H, Kohen-Raz R.** (2008). Postural control modifications induced by synchronized ice skating. *Sport Sciences for Health*, 3(1), 11-17.
3. **Bahr MA, Bahr R.** (2014). Jump frequency may contribute to risk of jumper's knee: a study of interindividual and sex differences in a total of 11 943 jumps video recorded during training and matches in young elite volleyball players. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2014.
4. **Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett, WE.** (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6), 573-578.
5. **Colby S, Francisco A, Yu B, Kirkendall D, Finch M, Garrett W.** (2000). Electromyographic and kinematic analysis of cutting maneuvers. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(2), 234-240.
6. **Cowley HR, Ford KR, Myer GD, Kernozek TW, Hewett TE.** (2006). Differences in neuromuscular strategies between landing and cutting tasks in female basketball and soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 41(1), 67.

7. **Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ, Sterett WI, Steadman JR.** (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, *18*(7), 662-669.
8. **Dufek JS, Bates BT.** (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *22*(3), 370-377.
9. **Dufek JS, Bates BT.** (1991). Biomechanical factors associated with injury during landing in jump sports. *Sports Medicine*, *12*(5), 326-337.
10. **Fagenbaum R, Darling WG.** (2003). Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, *31*(2), 233-240.
11. **Ferretti A, Papandrea P, Conteduca F, Mariani PP.** (1992). Knee ligament injuries in volleyball players. *The American Journal of Sports Medicine*, *20*(2), 203-207.
12. **Fransz DP, Huurnink A, Kingma I, Verhagen EA, van Dieën JH.** (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. *Clinical Biomechanics*, *28*(6), 591-601.
13. **Fransz DP, Huurnink A, Kingma I, van Dieën JH.** (2014). How does postural stability following a single leg drop jump landing task relate to postural stability during a single leg stance balance task? *Journal of Biomechanics*, *47*(12), 3248-3253.
14. **Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, Dijkstra PU, Postema K, Otten E.** (2010). Abnormal landing strategies after ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*(1).
15. **Grabowski AM, Kram R.** (2008). Effects of velocity and weight support on ground reaction forces and metabolic power during running. *Journal of Applied Biomechanics*, *24*(3), 288-297.
16. **Gribble PA, Robinson RH.** (2009). Alterations in knee kinematics and dynamic stability associated with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *44*(4), 350-355.
17. **Hargrave MD, Carcia CR, Gansnedder BM, Shultz SJ.** (2003). Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. *Journal of Athletic Training*, *38*(1), 18.
18. **Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR.** (1996). Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. *The American Journal of Sports Medicine*, *24*(6), 765-773.
19. **Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, ve diğ.** (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, *33*(4), 492-501.
20. **Hupperets MD, Verhagen EA, van Mechelen W.** (2009). Effect of sensorimotor training on morphological, neurophysiological and functional characteristics of the ankle. *Sports Medicine*, *39*(7), 591-605.
21. **Keller TS, Weisberger AM, Ray JL, Hasan SS, Shiavi RG, Spengler DM.** (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clinical Biomechanics*, *11*(5), 253-259.
22. **Kuczy ski M, Rektor Z, Borzucka D.** (2009). Postural control in quiet stance in the second league male volleyball players. *Human Movement*, *10*(1), 12-15.
23. **Lees A.** (1981). Methods of impact absorption when landing from a jump. *Engineering in Medicine*, *10*(4), 207-211.
24. **McKinley P, Pedotti A.** (1992). Motor strategies in landing from a jump: the role of skill in task execution. *Experimental Brain Research*, *90*(2), 427-440.
25. **McLean SG, Felin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S.** (2007). Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *39*(3), 502-514.
26. **McNair PJ, Prapavessis H.** (1999). Normative data of vertical ground reaction forces during landing from a jump. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *2*(1), 86-88.
27. **McNitt-Gray JL.** (1993). Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *Journal of Biomechanics*, *26*(9), 1037-1046.
28. **Nigg BM.** (1985). Biomechanics, Load Analysis and Sports Injuries. *Sports Medicine*, *2*, 367-379.
29. **Noyes FR, Matthews DS, Mooar PA, Grood ES.** (1983a). The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *65*(2), 163-174.
30. **Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS, Butler DL.** (1983b). The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *65*(2), 154-162.
31. **Oliveira LF, Simpson DM, Nadal J.** (1996). Calculation of area of stabilometric signals using principal component analysis. *Physiological Measurement*, *17*(4), 305.
32. **Özgüven HN, Berme N.** (1988). An experimental and analytical study of impact forces during human jumping. *Journal of Biomechanics*, *21*(12), 1061-1066.
33. **Panzer VP, Wood GA, Bates BT, Mason BR.** (1988). Lower extremity loads in landings of elite gymnasts. *Biomechanics XI-B*, 727-735.
34. **Piasecki DP, Spindler KP, Warren TA, Andrish JT, Parker RD.** (2003). Intraarticular injuries associated with anterior cruciate ligament tear: findings at ligament reconstruction in high school and recreational athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, *31*(4), 601-605.
35. **Puddle DL, Maulder PS.** (2013). Ground reaction forces and loading rates associated with parkour and traditional drop landing techniques. *Journal of Sports Science and Medicine*, *12*(1), 122.

36. **Ross SE, Guskiewicz KM, Yu B.** (2002). Time to stabilization differences in functionally unstable and stable ankles. *Journal of Athletic Training*, **37**(S), S-22.
37. **Ross SE, Guskiewicz KM.** (2003). Time to stabilization: a method for analyzing dynamic postural stability. *Athletic Therapy Today*, **8**(3), 37-39.
38. **Salci Y, Kentel BB, Heycan C, Akin S, Korkusuz F.** (2004). Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players. *Clinical Biomechanics*, **19**(6), 622-628.
39. **Santello M, McDonagh MJ.** (1998). The control of timing and amplitude of EMG activity in landing movements in humans. *Experimental Physiology*, **83**(6), 857-874.
40. **Self BP, Paine D.** (2001). Ankle biomechanics during four landing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**(8), 1338-1344.
41. **Stambolieva K, Diafas V, Bachev V, Christova L, Gatev P.** (2012). Postural stability of canoeing and kayaking young male athletes during quiet stance. *European Journal of Applied Physiology*, **112**(5), 1807-1815.
42. **Tillman MD, Criss RM, Brunt D, Hass CJ.** (2004). Landing constraints influence ground reaction forces and lower extremity EMG in female volleyball players. *Journal of Applied Biomechanics*, **20**(1), 38-50.
43. **Wikstrom EA, Tillman MD, Schenker S, Borsa PA.** (2008). Failed jump landing trials: deficits in neuromuscular control. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, **18**(1), 55-61.
44. **Winter DA.** (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, **3**(4), 193-214.
45. **Van Dieën JH, Spanjaard M, Könemann R, Bron L, Pijnappels M.** (2008). Mechanics of toe and heel landing in stepping down in ongoing gait. *Journal of Biomechanics*, **41**(11), 2417-2421.
46. **Yu B, Kirkendall DT, Garrett Jr WE.** (2002). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: anatomy, physiology, and motor control. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, **10**(1), 58-68.
47. **Zadpoor AA, Nikooyan AA.** (2011). The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clinical Biomechanics*, **26**(1), 23-28.
48. **Zatsiorsky VM.** (2000). *Biomechanics in sport: performance improvement and injury prevention*. Malden, Mass.: Blackwell Science.