T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKET VE ANTRENMAN ANABİLİM DALI

AŞIRI YÜKSEKTE BULUNMAYI GEREKTİREN SPOR DALLARI SPORCULARINDA SANAL OLARAK YÜKSEKTE BULUNMANIN STATİK VE DİNAMİK DENGE ÜZERİNDE ETKİLERİ

Hazırlayan
Ebru DOĞAN

Danışman
Prof.Dr. Alpaslan YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2026
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKET VE ANTRENMAN ANABİLİM DALI

AŞIRI YÜKSEKTE BULUNMAYI GEREKTİREN SPOR DALLARI SPORCULARINDA SANAL OLARAK YÜKSEKTE BULUNMANIN STATİK VE DİNAMİK DENGE ÜZERİNDE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

Hazırlayan
Ebru DOĞAN

Danışman
Prof.Dr. Alpaslan YILMAZ

Bu Tez Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından TYL-2025-14237 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ocak 2026
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tezin kendi çalışmam olduğunu, tüm bilgilerin akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda akademik ve etik kuralların gerektirdiği gibi tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve kaynaklar listesinde gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Ebru DOĞAN

İmza:

YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

"Aşırı Yüksekte Bulunmayı Gerektiren Spor Dalları Sporcularında Sanal Olarak Yüksekte Bulunmanın Statik ve Dinamik Denge Üzerine Etkileri" adlı **Yüksek Lisans Tezi**, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi 'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	**Danışman**
Ebru DOĞAN	**Prof. Dr. Alpaslan YILMAZ**

Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Alpaslan YILMAZ

Prof.Dr. Alpaslan YILMAZ danışmanlığında **Ebru DOĞAN** tarafından hazırlanan **"Aşırı Yüksekte Bulunmayı Gerektiren Spor Dalları Sporcularında Sanal Olarak Yüksekte Bulunmanın Statik ve Dinamik Denge Üzerine Etkileri"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hareket ve Antrenman Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

…/…/2026

JÜRİ

Danışman : Prof. Dr. Alpaslan YILMAZ .....

(Erciyes Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Betül COŞKUN .....

(Erciyes Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı)

Üye : Prof.Dr. Osman PEPE .....

(Süleyman Demirel Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı)

ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun …… tarih ve …….. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

……/……/……

Prof. Dr. Aydın ALAN

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Lisans ve Lisansüstü eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Alpaslan YILMAZ'a,

Lisans ve Lisansüstü eğitimim boyunca her aşamasında bilgi, deneyim ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden, değerli katkıları ve destekleri için Öğr. Gör. Özge MACİT'e,

Lisans ve Lisansüstü eğitimim boyunca sağladığı rehberlik ve bilimsel katkılar için Dr.Öğr. Üyesi Betül COŞKUN'a

Yoğun çalışma süreci boyunca sabrı, anlayışı ve desteğiyle yanımda olan eşim Okan DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu Tez Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından **TYL-2025-14237** kodlu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

AŞIRI YÜKSEKTE BULUNMAYI GEREKTİREN SPOR DALLARI SPORCULARINDA SANAL OLARAK YÜKSEKLİKTE BULUNMANIN STATİK VE DİNAMİK DENGE ÜZERİNDE ETKİLERİ

Ebru DOĞAN

T.C. Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitiüsü
Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı
Yüksek Lisasns Tezi, Ocak 2026
Danışman: Prof.Dr. Alpaslan YILMAZ

ÖZET

Yapılan bu araştırmada aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcularda sanal gerçeklik ortamında, karanlık ortamda ve gerçek ortamda bulunmanın statik ve dinamik denge değerleri ölçülerek kaya tırmanışı, yamaç paraşütü, dağcılık gibi sporlarla ilgilenen ve bu branşla ilgilenmeyen bireylerin statik ve dinamik dengeleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlandı.

Araştırmaya Erciyes Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören, herhangi bir nörolojik veya psikiyatrik hastalık öyküsü bulunmayan yaşları 18-30 arası 15 gönüllü ve 7 tırmanış 9 yamaç paraşütü ile ilgilenen 16 sporcu toplamda 31 gönüllü katıldı. Çalışmadaki gönüllülerin statik denge ölçümü için Biodex Denge Sistemi ve sanal gerçeklik ortamını oluşturabilmek için Meta Quest 3 cihazları kullanıldı. Ölçüm öncesi akrofobi ölçeğini doldurmaları istendi. Gönüllülerden karanlıkta bulunma, yüksek ortamda bulunma ve gerçek ortamda bulunma olmak üzere üç farklı parametrede statik ve dinamik denge değerleri alındı.

Elde ediler ham veriler ile gruplar arası karşılaştırmalar için Mixed Design ANOVA ve normal dağılım varsayımı için Kolmogorov-Smirnov testi kullanıldı. İstatiksel anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ olarak alındı.

Sonuçlara göre, yüksekte bulunmayı gerektiren spor branşı ile ilgilenen ve bu branşlarla ilgilenmeyen gönüllülerin sanal yükseklik ve karanlık deneyiminin statik ve dinamik denge üzerinde anlamlı değişimlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Gönüllülerde herhangi bir akrofobik rahatsızlık olmkasızın gruplar arasında fark bulunamamıştır.

Sonuç olarak, iki grupta da statik denge düzeyinin karanlıkta, yüksekte ve gerçekte dinamik denge düzeyine göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda statik ve dinamik denge dzüeyinde gerçek ortam, yüksek ve karanlık ortama göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Akrofobisi olmayan tırmanış, dağcılık ve yamaç paraşütü sporcularında ve diğer sporcularda yüksekte bulunmanın statik ve dinamik denge düzeylerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Akrofobi, aşırı yükseklik, dinamik denge, sanal gerçeklik, sporcular, statik denge.

THE EFFECTS OF VIRTUAL EXPOSURE TO HEIGHT ON STATIC AND DYNAMIC BALANCE IN ATHLETES ENGAGED IN SPORTS REQUIRING EXTREME HEIGHT

Ebru DOĞAN

Erciyes University, Institute of Health Sciences
Department of Movement and Exercise Sciences,
Master's Thesis, January 2026
Advisor: Prof. Dr. Alpaslan YILMAZ

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effects of being in a virtual reality environment, a dark environment, and a real environment on static and dynamic balance in athletes engaged in sports requiring extreme altitude, as well as in individuals who do not participate in these sports. Static and dynamic balance values were measured to examine the effects of these conditions on individuals involved in sports such as rock climbing, paragliding, and mountaineering, and those not involved in such disciplines.

A total of 31 volunteers participated in the study, including 15 healthy volunteers aged between 18 and 30 years who were studying at the Faculty of Sport Sciences of Erciyes University and had no history of neurological or psychiatric disorders, as well as 16 athletes (7 rock climbers and 9 paragliding athletes). The Biodex Balance System was used to assess static and dynamic balance, and Meta Quest 3 devices were used to create the virtual reality environment. Prior to the measurements, participants were asked to complete the acrophobia questionnaire. Static and dynamic balance measurements were obtained under three different conditions: dark environment, high-altitude environment, and real environment.

For statistical analysis, raw data were evaluated using Mixed Design ANOVA for between-group comparisons, and the Kolmogorov–Smirnov test was applied to assess the assumption of normality. The level of statistical significance was set at $P < 0.05$.

According to the results, both athletes engaged in sports requiring exposure to altitude and individuals not engaged in such sports exhibited significant changes in static and dynamic balance following virtual height and dark environment experiences. No significant differences were observed between the groups in the absence of acrophobic symptoms.In conclusion, static balance performance was found to be superior to dynamic balance performance in both groups under dark, high-altitude, and real environment conditions. Additionally, both static and dynamic balance performances were better in the real environment compared to the high-altitude and dark environments. It was observed that exposure to height negatively affected static and dynamic balance levels in climbers, mountaineers, and paragliding athletes without acrophobia, as well as in other participants.

Keywords: Acrophobia, athletes, dynamic balance, extreme altitude, static balance, virtual reality.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI ii
KABUL VE ONAY iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
1.1. PROBLEM DURUMU 2
1.2. ARAŞTIRMANIN AMACI 3
2. GENEL BİLGİLER 4
2.1. DENGENİN TANIMI VE ÖNEMİ 4
2.1.1. Dengeyi Etkileyen Faktörler 5
2.1.2. Spor Performansında Dengenin Rolü 6
2.2. DENGEYİ SAĞLAYAN SİSTEMLER 7
2.2.1. Vestibüler Sistem 7
2.2.2. Görsel Sistem (Vizüel sistem) 11
2.2.3. Somatosensöriyel Sistem 14
2.3. PROPRİYOSEPSİYON 15
2.4. KORTİKAL HOMUNKULUS 17
2.4.1. Homunkulusun Vestibüler Sistem ile İlişkisi 18
2.5. DENGE TÜRLERİ 20
2.5.1. Statik Denge 20
2.5.2. Dinamik Denge 23
2.6. AKROFOBİ 25
2.6.1. Sporcular üzerindeki Etkileri 27

2.6.2. Akrofobi Nedenleri 28
2.6.2.1. Vestibüler ve Duyusal Faktörler 28
2.6.2.2. Öğrenilmiş Davranışlar ve Koşullanma 28
2.6.2.3. Genetik ve Kalıtsal Etkenler 29
2.6.2.4. Travmatik Yaşantılar 29
3. GEREÇ VE YÖNTEM 30
3.1. GÖNÜLLÜLERİN OLUŞTURULMASI 30
3.2. DENEYSEL TASARIM 30
3.2.1. Sosyo-Demografik Bilgi Formu ve Akrofobi Ölçeği 30
3.2.2. Biodex Balance System 31
3.2.3. Meta Quest 3 Sanal Gerçeklik Gözlüğü (Virtual Reality – VR) 32
4. BULGULAR 38
4.1. İSTATİKSEL ANALİZ 44
5. TARTIŞMA 45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 50
7. KAYNAKÇA 51

KISALTMALAR LİSTESİ

BGOF : Bilgilendirilmiş Gönüllü Oluru Formu

CoP : Center of Pressure

EEG : Elektroensefalografi

fMRI : Rezonans görüntüleme

LGN : Lateral Genikulat Çekirdeği

M1 : Primer Motor Korteks

MLSI : Medial–Lateral Stabilite İndeksi

MRI : Manyetik Rezonans Görüntüleme

S1 : Primer Somatosensör Korteks

VR : Sanal Gerçeklik

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Overal Stability İndeksi için Grup, Zemin, Durum Farkları Karma desen ANOVA Sonuçları 38
Tablo 4.2. Anterior-Posterior Stabilite İndeksi İçin Grup, Zemin, Durum Farkları Karma Desen Anova Sonuçları 38
Tablo 4.3. Medial-Lateral Stabilite İndeksi İçin Grup, Zemin, Durum Farkları Karma Desen Anova Sonuçları 39
Tablo 4.4. Koşul ve Zemin Durumları İçin Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları..... 39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Vestibüler sinirlerin vestibüler çekirdekler üzerinden (oval büyük beyaz alan) merkezi sinir sisteminin diğer alanları ile bağlantıları 10

Şekil 2.2. Görsel bilginin iki temel işleme yolu olduğunu gösteren klasik bir şema 13

Şekil 2.3. Optimal statik postürün elde edilebilmesi için vücut bölümlerinin ideal pozisyonu 23

Şekil 2.4. Dinamik denge sırasında vücudun postüral kontrol mekanizması temsili görsel 24

Şekil 3.1. Biodex Denge Sistemi 32

Şekil 3.2. Meta Quest 3 Sanal Gerçeklik Gözlüğü 33

Şekil 3.3. Sanal gerçeklik ortamında katılımcılara sunulan yüksekten bakış içeren görsel sahne örneği. 33

Şekil 3.4. Deneysel sürecin akış şeması. 35

Şekil 3.5. Denge aleti ve VR gözlük ile yapılan ölçümler. 37

Şekil 4.1. Deney Grubu İçin Overall Stability Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 41

Şekil 4.2. Kontrol Grubu İçin Overall Stability Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 41

Şekil 4.3. Deney Grubu İçin Anterior-Posterior Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 42

Şekil 4.4. Kontrol Grubu İçin Anterior-Posterior Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 42

Şekil 4.5. Deney Grubu İçin Medial-Lateral Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 43

Şekil 4.6. Kontrol Grubu İçin Medial-Lateral Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler 43

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günlük yaşam aktivitelerinin sürdürülebilmesi ve çevreyle etkili bir etkileşim kurulabilmesi için postüral kontrolün doğru şekilde sağlanması temel bir gereksinimdir. Postüral kontrol; merkezi sinir sistemi tarafından yönetilen ve vücut dengesinin korunması amacıyla görsel, propriyoseptif ve vestibüler sistemlerden gelen duyusal girdilerin bütünleştirilmesini içeren çok boyutlu bir süreçtir. Bu duyusal sistemlerin koordineli biçimde çalışması, bireyin hem hareketsiz duruş sırasında hem de hareket hâlindeyken stabilitesini koruyabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Peterka, 2002).

Postüral kontrol mekanizmalarının sınırlarını değerlendirmek amacıyla literatürde çeşitli deneysel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar arasında yükseklik maruziyeti, birey üzerinde oluşturduğu algısal ve fizyolojik etkiler nedeniyle en sık kullanılan postüral tehditlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Brown, 1997). Yüksek ortamlarda bulunmak, düşme olasılığına ilişkin algıyı artırarak duruş stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilmekte ve buna bağlı olarak bireylerin denge stratejilerinde belirgin değişikliklere neden olabilmektedir (Brandt, 2015). Yükseklik deneyimine verilen tepkiler bireyler arasında farklılık göstermektedir; bu tepkiler basit bir rahatsızlık hissinden klinik düzeyden akrofobiye kadar geniş olabilir (Huppert ve ark., 2020).

Teknolojik gelişmelerle birlikte sanal gerçeklik sistemleri, gerçek hayatta uygulanması riskli olabilecek yükseklik gibi durumların güvenli ve kontrollü ortamlarda deneyimlenmesine olanak tanımaktadır. VR tabanlı uygulamalar, duyusal girdilerin sistematik olarak değiştirilmesine, çevresel koşulların standartlaştırılmasına ve postüral tehditlerin tekrarlanabilir biçimde sunulmasına olanak sağlamaktadır. Bu özellikleri sayesinde VR, postüral kontrolün değerlendirilmesi ve incelenmesinde araştırmacılar için güçlü bir deneysel araç hâline gelmiştir (Cleworth ve ark., 2012; Robert ve ark., 2016).

Yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcular açısından denge kontrolü, performansın sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından belirleyici bir

faktördür. Kaya tırmanışı, dağcılık ve yamaç paraşütü gibi sporlar; değişken çevresel koşullar, yüksek risk düzeyi ve sürekli postüral uyum gereksinimi nedeniyle denge sistemleri üzerinde yoğun bir yük oluşturmaktadır. Bu tür aktiviteler yalnızca fiziksel dengeyi değil, aynı zamanda psikolojik dayanıklılığı ve stresle başa çıkma kapasitesini de zorlamaktadır (Breivik, 2010; Krein ve ark., 2018).

1.1. PROBLEM DURUMU

Yüksekte bulunmayı gerektiren spor dalları, sporculardan yalnızca yüksek düzeyde fiziksel yeterlilik değil, aynı zamanda gelişmiş duruş kontrolü ve çevresel koşullara hızlı uyum sağlama becerisi ister. Bu spor dallarında karşılaşılan yükseklik, değişken görsel referanslar ve artan düşme riski algısı; denge kontrol mekanizmaları üzerinde belirgin bir baskı oluşturmaktadır. Ancak bu koşullar altında sporcuların statik ve dinamik denge performanslarının nasıl etkilendiği ve hangi duyusal sistemlerin bu süreçte baskın rol oynadığı hâlen net biçimde ortaya konulamamıştır.

Mevcut literatürde postüral kontrol, çoğunlukla laboratuvar ortamında, standart ve düşük riskli koşullar altında incelenmiştir. Bu durum, yükseklik gibi gerçek yaşamda sık karşılaşılan ancak deneysel açıdan zorlayıcı koşulların denge üzerindeki etkilerinin yeterince temsil edilememesine yol açmaktadır. Özellikle aşırı yükseklik gerektiren spor dallarında edinilen deneyimlerin, sporcuların denge stratejilerini nasıl şekillendirdiği ve bu deneyimlerin sanal ortamlarda yeniden oluşturulduğunda benzer tepkiler üretip üretmediği konusu, araştırılması gereken önemli bir problem alanı olarak öne çıkmaktadır.

Sanal gerçeklik temelli yükseklikte bulunma, aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcuların statik ve dinamik denge performansları üzerindeki etkilerinin bütüncül bir yaklaşımda ele alınarak değerlendirilmesi gerekir. Denge performansının algısal ve psikolojik süreçlerle birlikte değerlendirilmesi, bu alandaki bilgi eksikliklerinin giderilmesine katkı sağlayacaktır.

1.2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu araştırmanın temel amacı, aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcularda, sanal gerçeklik (Virtual Reality, VR) teknolojisi kullanılarak oluşturulan yükseklik maruziyetinin statik ve dinamik denge üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde incelemektir. Günlük yaşamda ve sportif faaliyetler sırasında postüral kontrolün sürdürülebilmesi; görsel, vestibüler ve propriyoseptif sistemlerden gelen duyusal girdilerin merkezi sinir sistemi tarafından etkin biçimde bütünleştirilmesine bağlıdır. Yükseklik gibi postüral tehdit oluşturan durumların bu entegrasyon sürecini nasıl etkilediğinin anlaşılması, özellikle yüksek risk içeren spor dalları açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, sanal ortamda sunulan yükseklik senaryolarının sporcuların postüral stabilite düzeyleri üzerindeki etkileri, statik ve dinamik denge ölçümleri aracılığıyla objektif olarak değerlendirilecektir. Sanal gerçeklik uygulamalarının, gerçek ortamda oluşturulması güç veya riskli olan yükseklik koşullarını güvenli, kontrollü ve tekrarlanabilir biçimde sunabilmesi, bu araştırmanın deneysel geçerliliğini güçlendiren temel unsurlardan biridir. Bu doğrultuda, VR tabanlı yükseklik maruziyetinin denge performansında meydana getirdiği değişimlerin nicel olarak ortaya konulması hedeflenmektedir.

Araştırmanın bir diğer amacı, sanal yükseklik maruziyetine verilen bireysel tepkilerin, sporcuların görsel yükseklik intoleransı ve akrofobi düzeyleri ile ilişkisini incelemektir. Yüksekliğe karşı gelişen algısal ve duygusal tepkilerin, postüral kontrol stratejileri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi; denge performansında gözlenen farklılıkların yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikofizyolojik bileşenler çerçevesinde ele alınmasına olanak sağlayacaktır. Böylelikle, yükseklik algısına bağlı olarak ortaya çıkan stres, kaygı ve düşme riski algısının denge kontrolü üzerindeki rolünün aydınlatılması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. DENGENİN TANIMI VE ÖNEMİ

Denge, insan hareketinin en temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilir ve hem sportif performansın geliştirilmesinde hem de günlük yaşam aktivitelerinin sürdürülmesinde kritik bir role sahiptir. Spor bilimlerinde temel motor yetenekler içinde değerlendirilen denge, bireyin planlanan bir hareketi doğru teknikle uygulayabilmesi, vücut pozisyonunu koruyabilmesi ve dışarıdan gelen beklenmeyen etkilere uyum sağlayabilmesi için gerekli olan bütünlüğü ifade eder (Kauranen ve Kejonen, 2002). Genel anlamıyla denge, biyomekanik açıdan yerçekimi ile vücudun ağırlık merkezinin uyumlu bir şekilde hizalanmasını ve bu merkezin destek yüzeyi içerisinde tutulmasının gerektiğini ifade eder. Bu düzenin bozulması hâlinde vücut devrilmeye eğilim gösterir; ancak denge sistemi, bu devrilmeyi önlemek üzere sürekli mikro-düzeltmeler yapar (Okubo ve ark., 1979).

Dengenin önemi yalnızca spor performansıyla sınırlı değildir. Günlük yaşam faaliyetlerinin neredeyse tamamında, birey farkında olmasa bile denge kontrolü sürekli olarak kullanılır. Yürüme, eğilme, merdiven çıkma, oturup kalkma, nesne uzanma gibi günlük aktivitelerin gerçekleştirilmesinde denge, hareket kalitesinin korunması ve yaralanmaların önlenmesi açısından belirleyici bir faktördür. Ayrıca yaşlanma, yorgunluk, hastalıklar veya çevresel risk faktörleri, bireyin denge kontrolünü olumsuz yönde etkileyerek düşme riskini artırabilir. Bu nedenle denge mekanizmasının uygun şekilde çalışması hem sağlık hem de yaşam kalitesi açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Gündoğdu ve ark., 2018).

Denge kontrolünün sportif performans üzerindeki etkisi ise daha da belirgindir. Özellikle jimnastik, dans, dağcılık, kayak, futbol, basketbol, mücadele sporları gibi yüksek koordinasyon ve vücut farkındalığı gerektiren branşlarda denge, başarı oranını doğrudan etkileyen anahtar faktörlerden biridir. Bu branşlarda çevresel koşullar sık sık değişmekte ve sporcu, hareketin her aşamasında ağırlık merkezini kontrol altında tutmak zorunda kalmaktadır. Bu nedenle sportif performansın

gelişimi açısından denge eğitimi, antrenman programlarının içerisinde yer almaktadır (Lopes ve ark., 2014).

Denge kontrolünün etkinliği aynı zamanda nörolojik sağlıkla yakından ilişkilidir. Vestibüler sistemde meydana gelen işlev bozuklukları, propriyosepsiyon kaybı, kas kuvveti yetersizlikleri veya koordinasyon problemleri, denge mekanizmasını doğrudan etkileyerek bireyde postüral dengesizliklere yol açabilir. Bu durum yalnızca sportif performansı düşürmekle kalmaz; düşme, yaralanma ve aktivite kısıtlılığı gibi sonuçlara da neden olabilir. Bu nedenle dengeyi oluşturan bileşenlerin anlaşılması hem rehabilitasyon süreçlerinin planlanmasında hem de performans odaklı antrenman programlarının geliştirilmesinde büyük önem taşır (Cullen, 2019; Horak, 2006).

2.1.1. Dengeyi Etkileyen Faktörler

Çevresel koşullar ve psikolojik durum da denge üzerinde dolaylı etkilere sahiptir. Zemin özellikleri, ışık düzeyi ve görsel karmaşıklık gibi çevresel değişkenler dengeyi zorlaştırabilirken; kaygı, korku ve dikkat düzeyi gibi psikolojik faktörler postüral kontrol stratejilerinin değişmesine neden olabilmektedir. Özellikle yükseklik algısı gibi durumlarda artan kaygının, postüral salınımı artırdığı ve denge performansını olumsuz etkilediği belirtilmektedir (Cleworth ve ark., 2012).

Kas-iskelet sisteminin fonksiyonel durumu da denge üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Kas kuvveti, eklem hareket açıklığı ve postüral kasların koordinasyonu, özellikle ayakta duruş sırasında ağırlık merkezinin destek tabanı içinde tutulabilmesi açısından önemlidir. Yetersiz kas kuvveti veya kaslar arası koordinasyon bozuklukları, denge stratejilerinin etkinliğini azaltarak dengesizlik riskini artırmaktadır (Gürkan ve ark., 2016).

Yüksek irtifa, çevresel faktörler arasında denge kontrolünü belirgin şekilde etkileyebilen önemli bir değişkendir. İrtifaya bağlı olarak ortaya çıkan hipoksik ortam, vestibüler sinyal iletiminde ve merkezi sinir sisteminin duyusal entegrasyonunda bozulmalara yol açabilir. Oksijen basıncındaki azalmanın postüral kontrol mekanizmalarını zayıflattığı ve özellikle irtifa gerektiren sportif aktivitelerde denge performansını düşürdüğü bildirilmiştir (Rupp & Büchele, 2015).

Psikolojik etmenler, denge mekanizmasının ayrılmaz bir bileşenini oluşturur. Kaygı, korku, dikkat düzeyi ve tehdit algısı gibi durumlar, bireyin postüral stratejilerini değiştirebilir. Tehdit altında bulunan bireylerin daha katı bir duruş benimsediği, hareket açıklığını azalttığı ve ağırlık merkezini daha güvenli bir bölgede tutmaya çalıştığı gösterilmiştir. Yükseklik korkusu olan kişilerde ise görsel girdiler tehdit unsuru olarak algılanmakta, bu durum vestibüler sistemle olan duyusal bütünleşmeyi bozarak dengenin korunmasını güçleştirmektedir (Adkin ve ark., 2000).

Fizyolojik faktörler arasında kas kuvveti, kas dayanıklılığı ve nöromüsküler koordinasyon denge kontrolü açısından önemli rol oynar. Alt ekstremite kaslarının yeterli güce sahip olması, ağırlık merkezi değişimlerine karşı hızlı ve etkili düzeltici tepkilerin üretilmesini sağlar. Zayıf kas yapısı, postüral stratejilerin uygulanmasını geciktirerek dengesizlik ve düşme riskini artırır. Buna ek olarak esneklik düzeyi, bireyin telafi stratejilerini daha geniş hareket açıklığıyla gerçekleştirmesine olanak tanır. Kuvvet, esneklik ve koordinasyonun birlikte gelişmiş olması, özellikle dinamik denge yeteneğini artırarak sportif performansı olumlu yönde etkiler (Granacher ve ark., 2010).

Bu unsurlar birlikte ele alındığında, denge kontrolünün yalnızca fizyolojik ya da çevresel parametreler ile açıklanamayacağı; psikolojik, duyusal ve motor sistemlerin sürekli karşılıklı etkileşim içinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle denge, çok boyutlu bir yapı olarak değerlendirilmelidir ve performans analizlerinin bu bütünsel çerçevede yapılması daha sağlıklı sonuçlar sağlayacaktır (Peterka, 2002).

2.1.2. Spor Performansında Dengenin Rolü

Denge, spor performansının temel belirleyicilerinden biri olup sporcunun hareketlerini etkili, kontrollü ve güvenli bir biçimde sürdürebilmesi için kritik öneme sahiptir. Spor dallarının büyük çoğunluğu, vücudun farklı konumlar arasında geçiş yapmasını, ani duruşlar ve hızlanmalar gerçekleştirmesini ya da dış kuvvetlere karşı dengeyi koruyabilmesini gerektirir. Bu nedenle denge, yalnızca tamamlayıcı bir motor beceri değil, sportif verimliliğin doğrudan bileşeni olarak kabul edilir (Hrysomallis, 2011).

Sporcularda denge becerisi iki temel bileşen üzerinden değerlendirilir: statik denge ve dinamik denge. Statik denge, sporcunun sabit bir pozisyonu bozulmadan

sürdürebilme kapasitesini ifade eder. Özellikle atış sporları, jimnastik, yoga ve artistik duruş gerektiren disiplinlerde statik denge, hareket doğruluğunun ve teknik stabilitenin korunması açısından önemlidir. Dinamik denge ise sporcunun hareket hâlindeyken ağırlık merkezini kontrol edebilmesi, yön değiştirme, sıçrama, hızlanma ve ani duruş gibi hareketleri dengeli şekilde sürdürebilmesi anlamına gelir. Futbol, basketbol, voleybol gibi takım sporlarında ve tüm mücadele sporlarında dinamik denge becerisi, performansın sürdürülebilirliği açısından belirleyici bir unsurdur (Pojskic ve ark., 2018).

Dengenin gelişmiş olması, sporcunun hareket ekonomisini artırarak daha verimli bir performans sergilemesine yardımcı olur. İyi bir denge sistemi, kas kuvvetinin daha etkin kullanılmasına, eklem stabilitesinin korunmasına ve enerji kaybının en aza indirilmesine olanak sağlar. Bu durum, özellikle yüksek şiddetli ve uzun süreli aktivitelerde sporcunun dayanıklılığını ve teknik hareketleri sürdürme kapasitesini olumlu yönde etkiler. Ayrıca denge, sporcunun hareket sırasında dış etkilere karşı postürünü hızla ayarlayabilmesini sağlayarak sakatlanma riskini önemli ölçüde azaltır (Paillard, 2012).

Denge becerisinin gelişmiş olması, karmaşık hareketlerin hassasiyetini artırarak bireyin teknik performansını daha üst düzeye taşır. Jimnastik, artistik patinaj, kayak ve dans gibi yüksek koordinasyon gerektiren branşlarda denge, hareketlerin akıcılığı, doğruluğu ve estetik kalitesi için temel gerekliliklerden biridir. Benzer şekilde, futbol, basketbol ve voleybol gibi takım sporlarında iyi bir denge, sporcunun ikili mücadelelerde üstünlük sağlamasına, top kontrolünü korumasına ve yüksek hızda manevra kabiliyetini sürdürmesine olanak tanır. Bu nedenle denge antrenmanları, sporcuların hem performans artışı hem de yaralanma önleme amacıyla uyguladıkları programların ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir (Hrysomallis, 2008).

2.2. DENGEYİ SAĞLAYAN SİSTEMLER

2.2.1. Vestibüler Sistem

Vestibüler sistem; üç semisirküler kanal, utrikulus, sakkulus, vestibüler sinir lifleri ve beyin sapındaki vestibüler çekirdeklerden oluşan oldukça karmaşık ve çok boyutlu bir duyu sistemidir. Bu yapı hem çevresel hem de kendi hareketlerimizden

kaynaklanan ivme ve konum değişikliklerini algılayarak vücudun denge kontrolünü sağlar. Sistem anatomik olarak periferik ve santral olmak üzere iki ana bölümde incelenir. Periferik bölüm; yarım daire kanalları ile otolit organlarından (utrikulus ve sakkulus) oluşurken, santral bölüm beyin sapındaki vestibüler çekirdekleri ve bunlarla bağlantılı serebellar yapıları içerir. Bu iki bölümün eşgüdümlü çalışması, kişinin çevre ile uyumlu ve kontrollü bir postür sürdürebilmesini mümkün kılar (Mustafaoğlu, 2021).

Vestibüler sistem, yalnızca denge ve baş hareketlerini algılamaktan sorumlu bir duyu organı değil; aynı zamanda merkezi sinir sisteminin motor koordinasyon, mekânsal farkındalık, postüral strateji seçimi ve otonomik fonksiyonları düzenleyen çok boyutlu bir ağının temel bileşenidir. Son yıllarda yapılan nörofizyolojik çalışmalar, vestibüler sistemin klasik anlamda "denge organı" olmanın ötesine geçtiğini, bilişsel süreçler, beden imgesi, hareket planlaması ve çevresel navigasyon gibi yüksek düzey fonksiyonlara katkıda bulunduğunu göstermektedir (Hitier ve ark., 2014).

Vestibüler sistemin temel görevlerinden biri, başın üç boyutlu uzay içerisindeki hareketlerini doğru biçimde algılamaktır. Sistem, başın konumu, hareket yönü, hareketin hızı ve ivmesi gibi bilgileri değerlendirir ve bu verileri matematiksel olarak işleyerek merkezi sinir sistemine iletir. Böylece organizma hem kendi hareketlerini hem de çevresel değişimleri doğru yorumlayabilir (Hanes, 2012).

Vestibüler sistemin önemli çıktılarından biri vestibülo-oküler refleks ve vestibülo-spinal reflekslerdir. Vestibülo-oküler refleks, başın ani hareketleri sırasında gözlerin zıt yönde hareket ederek görüntünün retina üzerinde sabit kalmasını sağlar. Böylece birey hareket hâlinde bile net görüşü sürdürebilir. Vestibülo-spinal refleksler ise gövde ve alt ekstremite kas tonusunu düzenleyerek postürün korunmasına yardımcı olur. Bu reflekslerin etkili çalışmaması durumunda birey, küçük baş hareketlerinde bile görüntü bulanıklığı, dengesizlik ve oryantasyon bozukluğu yaşayabilir (Hall, 2013).

Periferik vestibüler yapılar, özellikle yarım daire kanalları ve otolit organları, mekânsal farkındalığın sağlanmasında temel sensörlerdir. Yarım daire kanalları, başın rotasyonel (açısal) hareketlerini algılarken; utrikulus ve sakkulus gibi otolit organları doğrusal ivmelenmeleri ve yerçekimi doğrultusundaki konum

değişikliklerini algılar. Bu bilgiler merkezi sinir sistemine iletildiğinde, kişi hem statik hem de dinamik koşullarda dengesini sürdürebilir ve çevresel etkilere uygun postüral tepkiler geliştirebilir (Lopez ve Blanke, 2011).

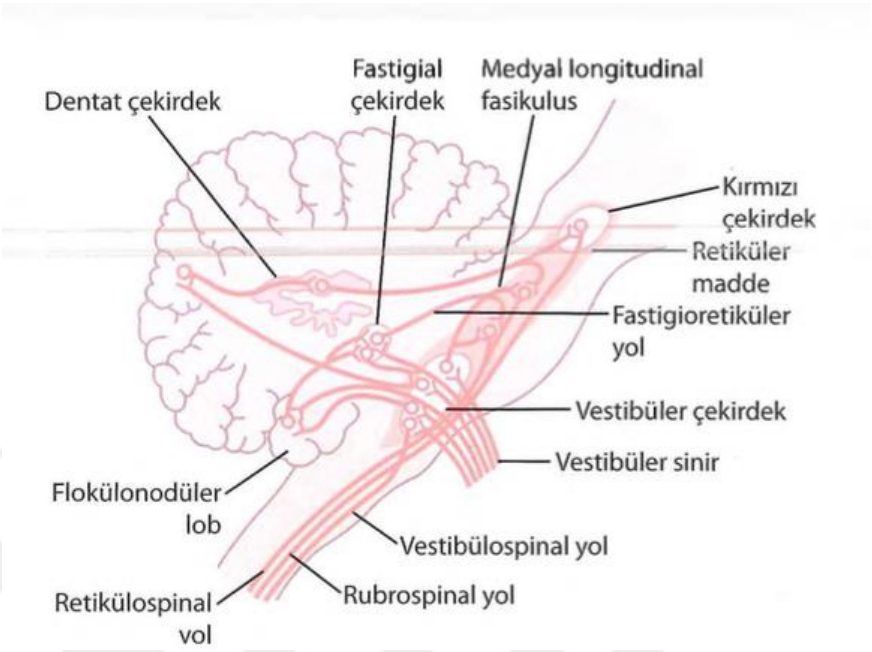
Vestibüler sinir aracılığıyla iletilen bilgiler, beyin sapındaki vestibüler çekirdeklerde işlenir. Bu çekirdeklerde analiz edilen sinyaller daha sonra serebellum, talamus ve kortikal alanlarla bütünleştirilir. Bu çok aşamalı entegrasyon süreci, vestibüler duyunun yalnızca dengeyi değil, aynı zamanda uzaysal hafızayı, hareket planlamayı ve motor kontrolü etkileyen önemli bir bileşen olduğunu göstermektedir (Cullen, 2019).

Vestibüler sistem görsel ve somatosensoriyel sistemlerle koordineli şekilde çalışır. Görsel sistem çevrenin mekânsal özelliklerini algılarken; somatosensoriyel sistem kas, eklem ve deri reseptörlerinden gelen geri bildirimlerle bedenin pozisyonu hakkında bilgi sağlar. Bu üç sistemin sağlıklı biçimde entegre edilmesi, kişinin hem sabit pozisyonlarda hem de hareket hâlindeyken dengeli bir duruş sergilemesini sağlar. Bu nedenle herhangi bir sistemde meydana gelen bir bozulma, duyusal entegrasyonun bozulmasına ve postüral instabilitenin ortaya çıkmasına neden olabilir (Horak, 2006).

Vestibüler sistem yüksek irtifa gibi ekstrem çevresel koşullarda da önemli derecede etkilenebilir. Yüksek irtifada yalnızca hipoksinin değil, aynı zamanda basınç değişimlerinin iç kulak sıvılarının (endolenf ve perilenf) dinamikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu sıvılardaki basınç farkları, vestibüler reseptörlerin duyarlılığını değiştirebilir ve anormal sinyallere yol açabilir. Bu durumda baş dönmesi, oryantasyon kaybı, hareketlerde koordinasyon bozukluğu ve dengesizlik gibi semptomlar ortaya çıkabilir (West, 2012).

Vestibüler sistemden kaynaklanan denge reflekslerinin temel yolu, iç kulaktaki vestibüler reseptörlerin uyarılmasıyla başlar. Bu uyarılar vestibüler sinir üzerinden taşınarak önce vestibüler çekirdeklere, aynı zamanda serebelluma iletilir. Bu merkezlerde işlenen sinyaller daha sonra vestibülospinal ve retikülospinal traktuslar aracılığıyla omuriliğe aktarılır ve ek olarak beyin sapındaki retiküler çekirdeklere yönlendirilir. Omurilikte sonlanan bu sinyaller, antigravite kaslarında

uyarıcı ve baskılayıcı etkilerin uygun şekilde düzenlenmesini sağlayarak postürün otomatik ve hızlı biçimde korunmasına katkıda bulunur. (Hall, 2013).



Şekil 2.1. Vestibüler sinirlerin vestibüler çekirdekler üzerinden (oval büyük beyaz alan) merkezi sinir sisteminin diğer alanları ile bağlantıları (Hall, 2013).

Serebellumun flokulonodüler lobları, özellikle yarım daire kanallarından gelen duyusal bilgileri işleyerek dengede önemli bir rol üstlenir. Bu loblarda meydana gelen hasar, yarım daire kanallarının tahribatında görülen bulgulara büyük ölçüde benzer; durağan pozisyonda denge genellikle korunur ancak yön ve hızın hızla değiştiği durumlarda dinamik denge belirgin şekilde bozulur (Hall, 2013).

Vestibüler çekirdekler ile serebellumdan çıkan sinyaller, medyal longitudinal fasikulus aracılığıyla beyin sapına ve üst merkezlere iletilir. Bu bağlantılar, baş hareketi sırasında gözlerin sabit bir hedefi takip edebilmesini sağlayan düzeltici göz hareketlerini oluşturur. Vestibüler ve retiküler yollar üzerinden kortekse taşınan sinyaller ise, pariyetal lobdaki dengeyle ilişkili primer kortikal alanlarda sonlanarak bireyin vücut pozisyonu ve dengesini algılamasına katkıda bulunur (Hall, 2013).

Klasik anatomik sınıflandırmalarda vestibüler korteksin tek bir bölge olarak tanımlanmaması, vestibüler bilginin beynin çok sayıda bölgesine dağıldığını göstermektedir. Fonksiyonel görüntüleme çalışmaları; insula, paryetal operkulum,

posterior paryetal korteks, hipokampus ve premotor alanların vestibüler girdilerle aktif hâle geldiğini göstermiştir (Guldin ve Grüsser, 1998).

Özellikle hipokampal yapılarla olan bağlantılar, vestibüler sistemin navigasyon ve çevresel haritalama fonksiyonlarında kritik rol üstlendiğini göstermiştir. Vestibüler girdilerdeki bozulmanın yön bulma güçlükleri, algısal hatalar ve beden konumunun yanlış değerlendirilmesi gibi sorunlara yol açtığı bilinmektedir (Blanke ve Lopez, 2011).

2.2.2. Görsel Sistem (Vizüel sistem)

Görsel sistem, çevreden gelen ışık uyaranlarının algılanarak sinirsel iletilere dönüştürülmesi ve bu bilgilerin merkezi sinir sistemi tarafından işlenmesiyle bireyin çevresini algılamasını sağlayan temel bir duyusal yapıdır. Görme süreci, retina tabakasında ışığa duyarlı fotoreseptörlerin uyarılmasıyla başlar ve oluşan sinyaller optik yollar aracılığıyla beynin görsel alanlarına iletilir. Beyinde işlenen görsel bilgi, iki ana işlevsel yol üzerinden değerlendirilir. Ventral yol, nesne tanıma, şekil ve renk algısı gibi görsel farkındalıkla ilişkili işlevleri üstlenirken; dorsal yol, hareket algısı, mekânsal konumlandırma ve görsel bilginin eyleme dönüştürülmesiyle ilişkili süreçlerde rol oynar (Goodale ve Milner, 1992).

Görsel sistem, vestibüler ve somatosensoriyel girdilerle birlikte postüral stabilitenin sağlanmasında temel bir rol oynar. Optik akış, çevresel referans noktaları ve derinlik algısı gibi görsel ipuçları, bireyin hem ayakta dururken hem de hareket hâlindeyken mekânsal oryantasyonunu korumasına yardımcı olur. Bu nedenle görsel algıdaki bozulmalar, postüral salınımın artmasına ve denge performansının düşmesine yol açabilir (Shumway-Cook ve Woollacott, 2007).

Görsel sistemin üst düzey işlevleri arasında hareket algısı, derinlik değerlendirmesi ve çevresel düzenin yorumlanması yer alır. Hareket algısında özellikle orta temporal bölgenin (MT/V5) önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Bu bölgede, nesnelerin hareket yönü, hızı ve ivmesi analiz edilerek organizmanın çevresine uyum sağlaması kolaylaştırılır. Derinlik ve üç boyutlu algı ise iki göz arasındaki görüntü farklarının işlenmesiyle oluşturulur; bu süreç stereopsis olarak bilinir ve daha çok inferotemporal kortikal alanlarda tamamlanır (Sterr ve Green, 2021).

Görsel sistemin denge üzerindeki etkisi çok yönlüdür. Görsel bilgilerin güvenilirliği, postüral stabilitenin sağlanmasında birincil rol oynar. Optik akışın azalması veya görsel referans noktasının kaybolması durumunda, bireyin postüral salınımı artar ve dengeyi koruma kapasitesi zayıflar. Örneğin, karanlık ortamlar veya görsel karmaşanın yoğun olduğu sahneler, vestibüler ve somatosensör sistemin daha fazla yük almasına neden olur. Bu durum duyusal yeniden ağırlıklandırma (sensory reweighting) süreçlerinin etkinliğine bağlı olarak denge performansını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilir (Peterka ve Loughlin, 2004).

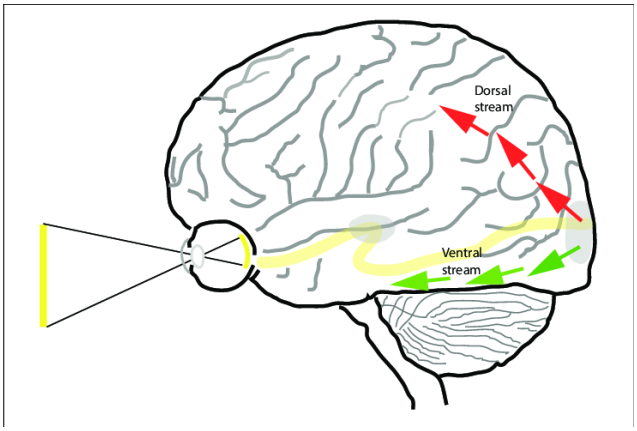
Görsel sistem, retinada fotoreseptörlerle başlayan ve beynin farklı kortikal merkezlerinde sonlanan karmaşık bir bilgi işleme ağı aracılığıyla çalışır. Retinada ışığın sinyale dönüştürülmesiyle başlayan süreç, optik sinir üzerinden lateral genikulat çekirdeğine (LGN) iletilir ve ardından primer görsel kortekse (V1) aktarılır. V1'de gerçekleştirilen temel özellik analizleri sonrası görsel bilgi iki temel işlem hattına ayrılır: dorsal akım ve ventral akım. Bu ayrım, görsel girdilerin hem mekânsal yönelim ve hareket algısı açısından davranışsal uyuma hem de nesne tanıma ve anlamlandırma süreçlerine hizmet etmesini sağlayarak görsel algının çok boyutlu yapısını oluşturur (Goodale ve Milner, 1992).

Dorsal akım, sıklıkla "nerede" ya da "nasıl" yolu olarak adlandırılır ve mekânsal algı, hareketin takibi ve çevresel yönelim gibi işlemleri üstlenir. Bu yol, görsel bilginin paryetal korteksteki alanlara iletilmesiyle uzamsal farkındalığı destekler. Bu nedenle dorsal akım, bireyin çevredeki nesnelerin konumunu belirlemesi, derinlik algısı oluşturması ve hareketli hedefleri izlemesi açısından kritik bir role sahiptir (Goodale ve Milner, 1992).

Buna karşılık ventral akım, "ne" yolu olarak tanımlanır ve nesnelerin şekil, renk ve ayrıntılarının işlenmesini sağlar. Temporal korteks boyunca ilerleyen bu yol, nesne tanıma, yüz algısı ve görsel hafıza süreçlerinde temel rol oynar. Ventral akımın sağlıklı çalışması, çevresel uyaranların anlamlandırılması ve bilişsel tanıma süreçlerinin doğru yürütülmesi için gereklidir (Ungerleider ve Haxby, 1994).

Aşağıdaki şema, görsel bilginin retinadan başlayarak V1'e ulaşmasını ve buradan dorsal (kırmızı) ile ventral (yeşil) yollara ayrılarak iki farklı işlevsel akım

üzerinden işlendiğini göstermektedir. Bu bütüncül yapı, bireyin hem çevreyi tanımasını hem de çevreyle etkili bir şekilde etkileşime girmesini mümkün kılar.



Şekil 2.2. Görsel bilginin iki temel işleme yolu olduğunu gösteren klasik bir şema (Goodale, 1992)

VR teknolojileri, kullanıcıya üç boyutlu, derinlik bilgisi içeren ve gerçek hayata oldukça yakın görsel sahneler sunarak görsel sistem üzerinde yoğun bir bilişsel işlem yükü oluşturur. VR ortamlarında görsel sistem, gerçek dünyada karşılaşılan görsel uyaranlara benzer sinyaller üretse de bu sinyaller diğer duyusal sistemlerle her zaman uyumlu olmayabilir. Bu uyumsuzluk hem postüral kontrol tepkilerine hem de duyusal bütünleşmeye doğrudan yansır (Weech ve ark., 2019).

Optik akış, bireyin hareketi sırasında çevredeki nesnelerin görsel alan içerisinde hareket etmesiyle oluşur. VR ortamlarında optik akışın hızının, yönünün veya genişliğinin değiştirilmesi, kişinin hareket algısını doğrudan etkiler. Optik akış hızının artırılması, kullanıcıda ilerleme hissini güçlendirirken; hızın azaltılması veya görsel gecikme oluşturulması, hareket algısında bozulmaya ve postüral salınımda artışa neden olabilir (Palmisano ve ark., 2020).

Gerçek dünyada baş ve vücut hareketleri sırasında görsel ve vestibüler bilgiler birbiriyle uyumludur; ancak VR ortamında kullanıcı fiziksel olarak hareketsizken sanal sahnenin hareket ediyor gibi görünmesi, vestibüler sistemin “hareket yok” bilgisi ile görsel sistemin “hareket var” bilgisini çelişkili hâle getirir. Bu duyusal uyumsuzluk postüral istikrarsızlığa, baş dönmesine, hareket hissinde değişime ve bazı kullanıcılar için siber-hareket hastalığı (cybersickness) olarak tanımlanan semptomlara yol açabilir (LaViola, 2000).

VR gözlükleri, her iki göze ayrı görüntüler sunarak üç boyutlu derinlik hissi oluşturur. Fakat sanal derinlik ipuçları gerçek dünyadakilerden farklı olduğunda veya görsel ipuçları arasında tutarsızlık bulunduğunda, gözler ile beyin arasındaki koordinasyon zorlanabilir. Derinlik algısının bozulması özellikle yükseklik içeren VR sahnelerinde, bireyin postüral kontrolünde belirgin değişikliklere neden olabilir ve yüksekten bakma hissini artırarak dengeyi bozan davranışsal tepkiler oluşmasına yol açabilir (Cleworth ve ark., 2012).

VR ortamlarında görsel girdilerin aşırı baskın hâle gelmesi, duyusal ağırlıklandırma süreçlerini değiştirir. Kullanıcı, özellikle yüksek gerçekçilik düzeyine sahip VR uygulamalarında vestibüler ve somatosensoriyel bilgileri geri plana iterek ağırlıklı olarak görsel bilgilere dayanma eğilimindedir. Bu durum, görsel ipuçları manipüle edildiğinde daha güçlü postüral salınım, denge kaybı ve hareket stratejilerinde değişiklik oluşmasına neden olur (Slobounov ve ark., 2015).

Denge araştırmalarında VR, görsel sistemin rolünü analiz etmek için kontrollü bir laboratuvar ortamı sunar. Sanal yükseklik, hareketli zemin, dar destek yüzeyi veya hızla değişen görsel sahneler gibi uyarıcılar, gerçek hayatta riskli olabilecek durumların simüle edilmesine olanak tanır. Araştırmalar, VR tabanlı görsel manipülasyonların postüral tepkileri güvenli bir biçimde tetiklediğini ve bireyin duyusal entegrasyon kapasitesi hakkında değerli bilgiler sağladığını göstermektedir (Riecke ve Schulte-Pelkum, 2013).

2.2.3. Somatosensöriyel Sistem

Somatosensöriyel sistem, vestibüler ve görsel sistemle birlikte çalışarak dengenin çok boyutlu bir yapıda sürdürülmesini sağlar. Yürüme, koşma, zıplama gibi karmaşık motor beceriler esnasında kas-iç duyu reseptörlerinden gelen bilgiler, denge için gerekli olan düzeltici hareketlerin zamanında gerçekleştirilmesine destek olur. Bu durum özellikle sporcularda performans açısından kritik bir avantaj oluşturur (Proske ve Gandevia, 2012).

Somatosensoriyel bilgi, zeminin yapısını, bedenin mekândaki konumunu ve eklemlerin hareket yönünü belirlemede önemli bir rol oynar. Duyu kaybı veya proprioseptif bozukluklar olduğunda denge performansında belirgin düşüşler

gözlenmektedir. Bu nedenle sporcuların hem statik hem de dinamik denge becerilerinin gelişiminde somatosensöriyel girdilerin doğru işlenmesi büyük önem taşır (Han ve ark., 2015).

Ayrıca somatosensöriyel sistem, yüksek ortamlarda vestibüler ve görsel sistemin stres altında olduğu durumlarda dengeyi stabilize eden "tamamlayıcı" bir güvenlik mekanizması gibi çalışır. Çeşitli spor branşlarında zemin değişiklikleri, yön değişiklikleri ve ani hızlanma-durma gerektiren hareketlerde proprioseptif duyular, sporcunun motor yanıt hızını belirleyen başlıca bileşendir (Lephart ve ark., 1998).

Somatosensöriyel sistem, deri, kas, tendon ve eklemlerden gelen duyusal bilgileri merkezi sinir sistemine ileterek vücut pozisyonu ve hareketi hakkında farkındalık sağlar. Bu sistem; proprioseptif, dokunma, basınç ve vibrasyon duyularını kapsar. Kas iğciği ve Golgi tendon organları aracılığıyla kas uzunluğu ve gerilimi hakkında sürekli bilgi sağlanır. Bu bilgiler spinal kord ve beyin yoluyla serebellum ve kortekse iletilerek motor kontrolün hassas şekilde düzenlenmesini mümkün kılar. Postüral kontrol açısından somatosensöriyel sistem, zeminden ve vücut segmentlerinden gelen geri bildirimlerle denge stratejilerinin oluşturulmasında kritik öneme sahiptir. Özellikle yüzey değişikliklerine adaptasyon somatosensöriyel girdiler sayesinde gerçekleşir (Hall, 2013).

2.3. PROPRİYOSEPSİYON

Propriyosepsiyonun, yaş faktöründen bağımsız olarak ayakta duruş sırasında denge kontrolünün sürdürülmesinde temel bir duyusal geri bildirim kaynağı olduğu kabul edilmektedir (Goble ve ark., 2009).

Propriyosepsiyon, bireyin vücut pozisyonu, eklem hareketi ve kas gerimi hakkında bilinçli ya da bilinçsiz olarak bilgi almasını sağlayan temel bir duyu modalitesidir. Bu sistem, kas iğcikleri, Golgi tendon organları ve eklem reseptörleri gibi periferik mekanoreseptörler aracılığıyla sürekli geri bildirim üreterek postüral kontrolün korunmasına önemli katkı sağlar. Bu duyusal bilgiler, merkezi sinir sistemine iletilir ve motor yanıtların zamanında ve doğru şekilde oluşturulmasını mümkün kılar. Böylece birey, karmaşık motor görevler sırasında dahi vücudunun uzaydaki konumunu hassas bir şekilde algılayabilir (Proske ve Gandevia, 2012).

Propriyoseptif girdiler, özellikle vestibüler ve vizüel sistemlerle bütünleşerek dengenin sürdürülmesinde kritik bir rol oynar. Görsel göstergelerin yetersiz kaldığı veya vestibüler sistemin sınırlı bilgi sağladığı durumlarda, propriyosepsiyon denge kontrolünde baskın hale gelir. Bu nedenle, sporcularda gelişmiş bir propriyoseptif sistem, performansın artırılmasına ve motor becerilerin daha doğru icra edilmesine olanak tanır. Özellikle denge gerektiren spor dallarında, eklem pozisyon duyusu ve kinestezik farkındalığın güçlü olması, sakatlanma riskinin azaltılmasına ve hareket ekonomisinin artmasına katkıda bulunur (Han ve ark., 2015).

Propriyosepsiyon, pozisyon duyusunun statik ve dinamik yönlerini içerir (Ergen ve ark., 2007). Bu duyusal sistem, bireyin vücut bölümlerinin birbirine göre konumunu algılamasının yanı sıra, hareket esnasında kaslar tarafından ortaya konulan çaba düzeyini gösterir. Propriyoseptif girdiler genellikle kısa mesafede etkilidir; tonik ya da fazik özellik gösterebilir ve istemli ya da dışsal kuvvetlere kıyasla daha düşük şiddette algılanır (Blecher ve ark., 2018). Propriyosepsiyonun, yaşa bakılmaksızın dik durma sırasında dengenin korunması için kritik bir duyusal geribildirim kaynağı olduğu bilinmektedir (Goble ve ark., 2009).

Somatosensöriyel sistem, postüral kontrol ve denge mekanizmalarında kritik bir rol oynayan temel bir duyusal ağdır. Propriyoseptif girdiler, kas iğcikleri, Golgi tendon organları ve eklem reseptörlerinden gelen afferent sinyaller aracılığıyla merkezi sinir sistemine iletilir. Bu bilgiler, omurilik ve beyin düzeyinde bütünleştirilerek, kas aktivasyon zamanlaması, kaslar arası koordinasyon ve vücut segmentlerinin uzaydaki konumunun hassas algısı için gerekli motor yanıtların oluşturulmasını sağlar. Propriyoseptif girdinin azalması veya bozulması, postüral yanıtların gecikmesine ve denge kontrolünün etkinliğinin düşmesine neden olabilir; bu da özellikle yürüyüş ve postural denge düzeltmeleri gibi sensörimotor görevlerde performansı olumsuz etkiler (Allum ve ark., 1998).

Denge sistemi içerisinde propriyosepsiyon, vestibüler ve görsel bilgilerle eş zamanlı olarak işlenir ve bu üçlü yapı postüral stabilitenin temelini oluşturur. Görsel girdinin azaldığı ya da vestibüler bilginin sınırlı olduğu durumlarda, proprioseptif mekanizmalar denge kontrolü üzerinde daha baskın hâle gelir. Sporcularda gelişmiş bir proprioseptif geri bildirim sistemi, özellikle karmaşık ve hızlı motor beceriler

sırasında eklem pozisyon duyusunun hassasiyetini artırarak performansın iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, yükseklik gerektiren spor dallarında hem hareket ekonomisini artırmakta hem de sakatlanma riskini azaltmaktadır (Demir ve Karadağ, 2021).

Propriyosepsiyonun zayıflaması denge kontrolünde belirgin bozulmalara yol açabilmekte ve düşme riskini artırmaktadır. Travmatik yaralanmalar, yaşlanma, nörolojik hastalıklar veya sensörimotor entegrasyon bozuklukları bu sistemi olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle klinik rehabilitasyon alanında olduğu kadar sportif performans programlarında da proprioseptif eğitimin geniş şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Propriyoseptif antrenmanlar; denge yüzeylerinde yapılan egzersizler, kapalı kinetik zincir aktiviteleri ve sensörimotor farkındalığı artırmaya yönelik uygulamaları içerir. Bu tür çalışmaların eklem stabilitesini artırdığı, kas iğciği duyarlılığını geliştirdiği ve motor kontrol mekanizmalarını güçlendirdiği çeşitli araştırmalarda bildirilmiştir (Kaya ve Şimşek, 2019).

2.4. KORTİKAL HOMUNKULUS

Kortikal homunkulus, insan vücudunun duyusal ve motor işlevlerinin serebral kortekste temsil edildiği somatotopik organizasyonu ifade eden bir kavramdır. Bu temsil, özellikle primer somatosensör korteks (S1) ve primer motor korteks (M1) üzerinde vücudun farklı bölgelerinin orantısız büyüklükteki modelleriyle gösterilir. Homunkulusun temel özelliği, temsil edilen vücut bölgelerinin anatomik büyüklüklerine göre değil, o bölgenin sahip olduğu duyusal reseptör yoğunluğu veya motor kontrol hassasiyeti düzeyine göre orantılanmasıdır (Penfield ve Boldrey, 1937).

Duyusal homunkulus, dokunma, basınç, vibrasyon ve propriosepsiyon gibi somatosensöriyel duyuların kortikal temsilini içerirken; motor homunkulus, kas hareketlerinin istemli kontrolünü sağlayan kas gruplarının kortikal organizasyonunu ifade eder. Bu iki harita birlikte, vücudun hareket ve duyusal algı süreçlerinin nasıl düzenlendiğini ortaya koymaktadır. Bu yapıların fonksiyonel organizasyonu, sinir sisteminin plastisite özellikleri sayesinde yaşam boyu değişebilir. Özellikle tekrarlayan hareketler, öğrenme süreçleri ve rehabilitasyon uygulamaları, belirli

kortikal bölgelerin temsil alanlarında genişleme veya daralmaya yol açabilir (Nudo, 2013).

Homunkulusun anlaşılması, hem klinik nörobilimde hem de rehabilitasyon bilimlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Kortikal temsil haritaları, felç, periferik sinir yaralanmaları veya denge bozuklukları gibi durumlarda fonksiyonel kayıpların değerlendirilmesinde yol göstericidir. Bunun yanında, propriosepsiyon ve motor kontrol çalışmalarında kortikal organizasyonun bilinmesi, motor öğrenme süreçlerinin anlaşılmasına ve rehabilitasyon protokollerinin geliştirilmesine katkı sağlar. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme ve elektroensefalografi gibi modern nörogörüntüleme yöntemleri, homunkulusun dinamik yapısını daha ayrıntılı bir şekilde inceleme olanağı sunarak motor performans ve duyusal geri bildirim mekanizmalarının nörofizyolojik temelini aydınlatmaktadır (Kaas, 2021).

2.4.1. Homunkulusun Vestibüler Sistem ile İlişkisi

Kortikal homunkulus, vücudun duyusal ve motor işlevlerinin serebral kortekste somatotopik bir düzende temsil edildiği yapısal bir modeldir. Vestibüler sistem ise başın pozisyonu, hareket yönü ve uzaysal oryantasyonu hakkında merkezi sinir sistemine kritik bilgiler iletir. Her iki sistemin işlevleri farklı olsa da, postüral kontrol, denge ve motor koordinasyonun sağlanmasında birbirleriyle güçlü bir etkileşim gösterdikleri bilinmektedir. Vestibüler girdiler, beyin sapı ve talamus üzerinden parietal kortekse iletilerek somatosensöriyel bilgilerle bütünleştirilir; bu süreç proprioseptif duyuların kortikal temsili ve motor yanıtların doğruluğu açısından temel bir mekanizma oluşturur (Lopez ve Blanke, 2011).

Vestibüler bilgiler, özellikle başın uzaydaki konumu ve hareketine ilişkin yüksek doğrulukta sinyaller sağlayarak vücudun genel postüral şemasının oluşturulmasına katkıda bulunur. Somatosensör homunkulusun sunduğu dokunsal ve proprioseptif bilgiler ile vestibüler sistemden gelen uzaysal içerikli duyusal girdiler kortikal düzeyde entegre edilir. Böylece birey hem vücut parçalarının konumunu hem de tüm vücudun uzaydaki dengesini daha hassas şekilde algılayabilir. Bu entegrasyon, özellikle yüksek irtifa, karmaşık motor aktiviteler veya görsel referansların sınırlı olduğu durumlar gibi dengenin zorlandığı ortamlarda daha kritik hâle gelir (Guldin ve Grüsser, 1998).

Vestibüler ve somatosensöriyel sistemin eşgüdümlü çalışması, motor homunkulusun kontrol ettiği kas gruplarında doğru aktivasyon paternlerinin oluşturulması için gereklidir. Vestibüler sistemde meydana gelen bozulmalar, kortikal temsil alanlarının işlevsel organizasyonunu etkileyerek proprioseptif geri bildirimde zayıflamalara yol açabilir. Bu durum postüral kontrol hataları, dengesizlik hissi ve motor yanıt gecikmeleri şeklinde kendini gösterebilir. Özellikle denge ve koordinasyon gerektiren spor dallarında vestibüler girdilerin somatosensör korteks ile uyumlu çalışması, hareket doğruluğunu artırmakta ve motor öğrenme süreçlerini desteklemektedir (Hitier ve ark., 2014).

Kortikal homunkulus, vücudun duyusal ve motor işlevlerinin serebral kortekste nasıl temsil edildiğini gösteren temel bir nöroanatomik modeldir. Primer somatosensör korteks (S1) duyusal homunkulusu, primer motor korteks (M1) ise motor homunkulusu barındırır. Temsil alanlarının büyüklüğü anatomik boyutlardan ziyade, ilgili vücut bölgesinin duyusal reseptör yoğunluğu veya motor kontrol hassasiyeti ile belirlenir. Bu nedenle yüz, eller veya parmaklar gibi duyusal ve motor açıdan yüksek çözünürlük gerektiren bölgeler kortikal alanda daha geniş yer kaplar (Gürsoy, 2018).

Duyusal homunkulus; dokunma, basınç, vibrasyon ve propriosepsiyon gibi somatosensöriyel girdilerin işlendiği kortikal dağılımı temsil ederken, motor homunkulus istemli kas hareketlerinin düzenlendiği kortikal bölgeyi ifade eder. Bu iki yapı birlikte değerlendirildiğinde, insan hareketinin ve duyusal algının merkezi sinir sisteminde nasıl organize edildiğine ilişkin bütüncül bir anlayış sunmaktadır. Kortikal temsil alanları sabit değildir; nöroplastisite sayesinde öğrenme, tekrarlayan motor beceriler, duyusal deneyimler veya rehabilitasyon süreçleri sonucunda bu alanların genişleyip daralabildiği gösterilmiştir (Erdoğan ve Yıldız, 2020).

Kortikal homunkulusun yapısının ve vestibüler uyum süreçlerinin anlaşılması, hem temel nörobilim alanında hem de klinik uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. İnme, periferik sinir hasarları, proprioseptif bozukluklar ve denge problemleri gibi durumlarda kortikal haritanın yeniden düzenlenmesine ilişkin bilgi, değerlendirme ve tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Günümüzde fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve elektroensefalografi (EEG) gibi nörogörüntüleme yöntemlerinin gelişmesiyle, kortikal temsil alanlarının dinamik

yapısı daha ayrıntılı biçimde incelenebilmekte; motor performans ve duyusal geri bildirim süreçlerinin nörofizyolojik temelleri daha iyi anlaşılabilmektedir. (Kılıç ve Atalay, 2022).

2.5. Denge Türleri

2.5.1. Statik Denge

Statik denge, vücudun sabit pozisyonda dikliğini sürdürerek ağırlık merkezini destek tabanı sınırlarında tutma becerisini ifade eder (Rakip ve ark.). Başka bir tanımda statik denge, oturma veya ayakta durma gibi sabit bir duruşta dengeyi koruyabilme yeteneğidir (Goldie 1989). Statik denge, stabil bir zemin üzerinde, harici bir kuvvet olmaksızın, genel duruşun ya da vücut bölümlerinin belirli bir pozisyonda otomatik biçimde sürdürülmesidir. (Nicholas ve ark., 1995). Statik denge, minimum hareketle vücudun denge alanını sürdürme kapasitesidir (Hrysomallis, 2008).

Statik denge, bireyin ayakta durma sırasında vücut duruşuna bağlı salınımları kontrol edebilme becerisi olarak tanımlanmaktadır. Statik dengenin sürdürülebilmesi için vücut ağırlık merkezinin ikinci sakral omur hizasından geçerek destek yüzeyi sınırları içinde kalması gerekmektedir (Gürkan ve ark., 2016).

Denge kontrolü; görsel, vestibüler ve somatosensöriyel sistemler tarafından sağlanan duyusal girdilerin entegrasyonuna dayanır. Görsel sistem; çevresel referans sağlayarak vücudun mekândaki konumunu algılamaya yardımcı olurken, vestibüler sistem başın hareketi ve uzaydaki konumu hakkında bilgi iletir (Horak, 2006).

Statik denge, hem günlük yaşam aktivitelerinde hem de sportif performansta kritik bir bileşendir. Özellikle dikkat, postüral kontrol ve stabilite gerektiren spor dallarında yüksek statik denge kapasitesi, sakatlanma riskini azaltarak hareket verimliliğini artırır (Horak, 2006).

Son yıllarda VR uygulamaları, statik dengeyi değerlendirmek ve duyusal sistemleri ayrı ayrı test etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. VR ortamlarında oluşturulan yükseklik simülasyonları, bireyin görsel sistemini güçlü bir şekilde uyararak postüral kontrol mekanizmalarının nasıl etkilendiğini inceleme imkânı sunar. Bu ortamlar, gerçek yüksekliğin risklerini taşımadan denge

performansının güvenli ve kontrollü şekilde değerlendirilmesini sağlar (Peterka, 2002).

Statik denge değerlendirmesinde genellikle kuvvet platformları, stabilometreler ve Biodex Balance System gibi bilgisayarlı analiz cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlar, ayakta duruş sırasında meydana gelen postüral salınımların yönünü, hızını ve genliğini ölçerek objektif veriler elde edilmesine olanak tanır (Shumway-Cook ve Woollacott, 2007).

Statik denge, bireyin vücut ağırlık merkezini destek yüzeyi sınırları içerisinde tutarak sabit bir postürü sürdürebilme becerisidir. Bu beceri, postüral kontrol sisteminin nöromüsküler, biyomekanik ve duyusal bileşenlerinin uyumlu bir şekilde çalışmasını gerektirir. Statik denge performansı; duruşun korunması, postüral salınımların azaltılması ve dış çevresel değişikliklere karşı stabilitenin devam ettirilmesi gibi öğeleri içeren karmaşık bir süreçtir (Azadinia ve ark., 2018).

Denge kontrolü, görsel, vestibüler ve somatosensöriyel sistemlerden gelen duyusal bilgilerin merkezi sinir sistemi tarafından bütünleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Görsel sistem, çevresel ipuçlarını kullanarak mekânsal oryantasyonun düzenlenmesine yardımcı olurken; vestibüler sistem başın konumu ve uzaydaki hareketi hakkında temel bilgiler aktarır. Somatosensöriyel sistem ise kas, eklem ve tendon kaynaklı proprioseptif girdilerle postüral ayarlamaların hassas biçimde gerçekleştirilmesini destekler (Oie ve ark., 2002). Bu üç sistemden elde edilen duyusal bilgilerin uygun şekilde ağırlıklandırılması, özellikle belirsiz veya değişken çevresel koşullarda statik stabilitenin korunması açısından zorunludur (Maurer ve ark., 2006).

Sabit duruş sırasında vücut kaçınılmaz olarak küçük salınımlar sergiler. Bu salınımlar, postüral kontrol stratejilerinin doğal bir çıktısı olup biyomekanik ve nörofizyolojik süreçlerin etkileşimini yansıtır. Postüral salınım genliği ve hızı, denge performansının önemli göstergelerindendir. Denge bozulduğunda ayak bileği, kalça veya adım atma stratejilerinin devreye girmesi, merkezi sinir sisteminin dengeyi korumak için kullandığı kompensatuar mekanizmalardır. Bu stratejilerin seçimi ve uygulanma hızı, bireyin yaşına, fiziksel yeterliliğine ve sensörimotor kapasitesine göre değişiklik gösterebilir (Corriveau ve ark., 2001).

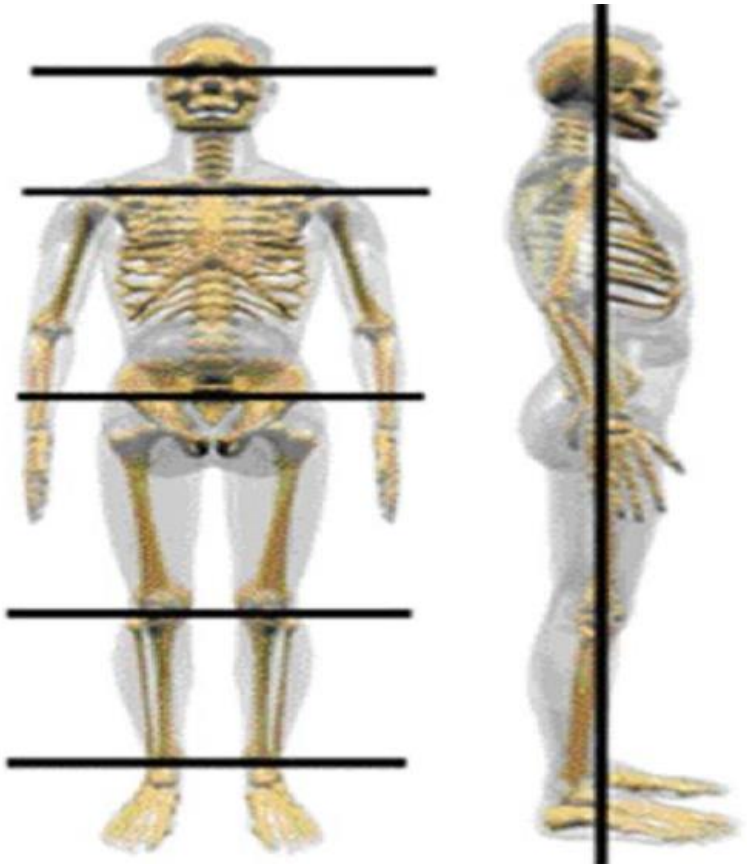
Spor alanında statik denge, performansın temel belirleyicilerinden biridir. Sporcuların postüral kontrol yetenekleri, teknik becerilerin doğruluğunu, hareket ekonomisini ve sakatlanma riskini etkileyen önemli etmenler olarak tanımlanmıştır. Özellikle yüksek stabilite gerektiren spor dallarında uzmanlık düzeyinin artmasıyla statik denge performansının da geliştiği görülmektedir (Noé ve Paillard, 2006). Sporcularda duyusal entegrasyon süreçlerinin daha etkin çalışması, hem postüral stabiliteyi hem de sportif performansı olumlu yönde etkilemektedir (Bressel ve ark., 2007).

Son yıllarda VR teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte statik dengenin değerlendirilmesi ve eğitimi yeni bir boyut kazanmıştır. VR ortamları, bireyin duyusal sistemlerini farklı derecelerde uyararak postüral kontrol mekanizmalarının nasıl değiştiğini inceleme imkânı sunmaktadır. Özellikle sanal yükseklik simülasyonları, görsel sistemin güçlü bir şekilde aktive edilmesi sonucu postüral salınımların artmasına neden olmakta ve sensörimotor yeniden ağırlıklandırma süreçlerini ortaya koymaktadır. VR uygulamalarının hem sportif performans hem de klinik rehabilitasyon alanlarında denge değerlendirmesi için güvenli ve kontrollü bir alternatif sunduğu bildirilmiştir (Kim ve Kim, 2021; Simeonov ve ark., 2005; So ve ark., 2019).

Statik dengeyi değerlendirmek için stabilometreler, kuvvet platformları ve bilgisayarlı denge analiz sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar, basınç merkezi (center of pressure – CoP) hareketlerini ölçerek postüral salınımın yönünü, hızını ve genliğini objektif biçimde analiz eder. Bu ölçümlerin doğruluğu, örnekleme frekansı, sinyal işleme yöntemleri ve ölçüm protokollerinin standartlaştırılmasıyla artırılmaktadır (Duarte ve Freitas, 2010). Stabilometrik analiz, klinik tanılama ve sportif performans alanlarında yaygın olarak kullanılan güvenilir bir değerlendirme yöntemidir (Scoppa ve ark., 2013). Ayrıca genç ve yaşlı bireyler arasındaki salınım farklarının belirlenmesi, denge performansının yaşla nasıl değiştiğini anlamak için değerli bilgiler sunmaktadır (Prieto ve ark., 1996).

Optimal ayakta duruş, vücudun uzaydaki pozisyonunu korurken mümkün olan en az nöromüsküler çabanın gerektiği ve yerçekiminin neden olduğu yüklenmelerin minimuma indirildiği postüral bir durum olarak tanımlanır. Bu postüral denge, kas-

iskelet sisteminin gereksiz zorlanmadan, enerji açısından verimli bir biçimde ve hareket bozukluğu oluşturmadan çalışmasına olanak sağlar. Optimal postürü sağlama ve sürdürme süreci, biyomekanik açıdan vücudun segmentlerinin uyumlu hizalanmasına ve hareket esnasında işlevsel stabilitenin korunmasına dayanır (Cronin ve Kritz, 2008).



Şekil 2.3. Optimal statik postürün elde edilebilmesi için vücut bölümlerinin ideal pozisyonu (Cronin ve Kritz, 2008).

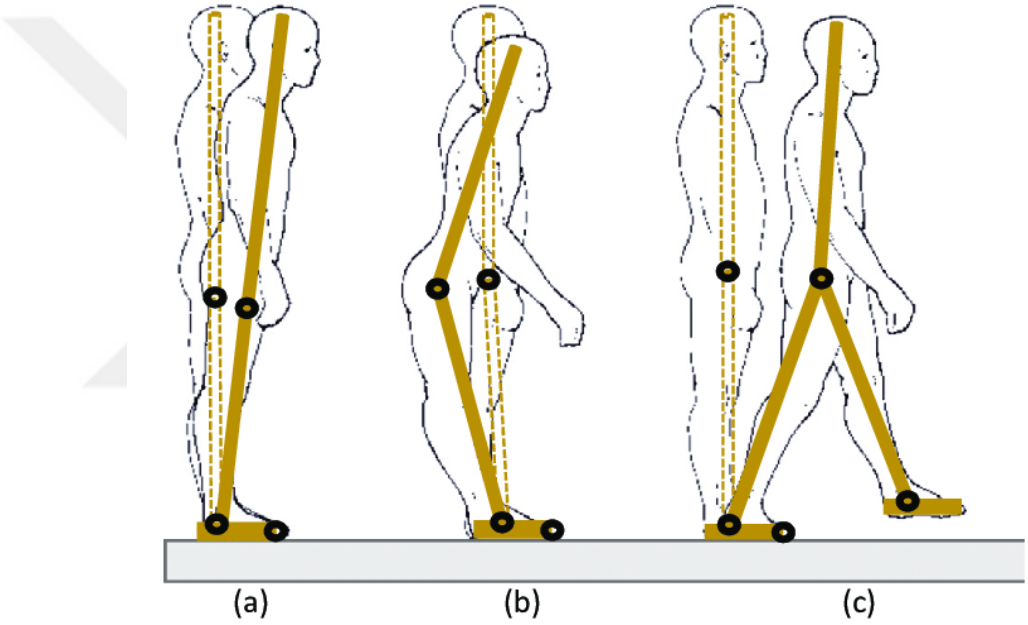
2.5.2. Dinamik Denge

Dinamik denge, hareket sırasında dengeyi sürdürme ve düzenleme yeteneği ile, dengesiz zeminlerde bile minimum hareketlerle stabil pozisyonu koruma becerisidir (Nashner, 1997). Dinamik denge, hareket esnasında veya dışsal kuvvetlere cevap olarak duruşun otomatik biçimde ayarlanması ve devamlılığını kapsar. Otonom ve pasif olmak üzere iki kategoride incelenir. Otonom dinamik denge, ayakta durma ve oturma gibi pozisyon değişikliklerinde, kendi kendine başlayan hareketlerle postüral dengeyi yeniden kurabilme becerisini belirtir. Tam tersi, pasif dinamik denge, itme

veya çekme gibi dış etkenlere maruz kalındığında dengeyi yeniden sağlayabilme kapasitesini ifade eder (Goldie, 1989).

Dinamik denge, bireyin hareket sırasında vücut ağırlık merkezini kontrol altında tutma ve destek yüzeyi değişse bile postüral stabiliteyi sürdürebilme becerisi olarak tanımlanmaktadır. Yürüme, koşma, yön değiştirme, zıplama ve günlük yaşamdaki pek çok fonksiyonel hareket, dinamik denge kontrolünün etkin çalışmasını gerektirir (Shumway-Cook ve Woollacott, 2007).

Aşağıdaki görsel, dinamik denge sırasında vücudun postüral kontrol mekanizmalarını temsili olarak göstermektedir.



Şekil 2.4. Dinamik denge sırasında vücudun postüral kontrol mekanizması temsili görsel (Ichihashi ve ark. 2020).

Dinamik denge sırasında merkezi sinir sistemi, özellikle ayak bileği, diz ve kalça çevresindeki proprioseptif reseptörlerden gelen duyusal bilgileri vestibüler ve görsel girdilerle karşılaştırarak uygun düzeltici motor tepkiler üretir. Bu düzeltici stratejiler, ayak bileği stratejisi, kalça stratejisi ve adım stratejisi gibi postüral kontrol mekanizmaları aracılığıyla stabilize edilir (Horak ve Macpherson, 1996).

Sporcularda dinamik denge performansı, sportif başarıyı belirleyen kritik bir unsurdur. Özellikle yön değiştirme, hızlanma-yavaşlama veya ani duruş gerektiren

spor branşlarında dinamik denge kapasitesinin yüksek olması hem performans artışına hem de sakatlık riskinin azaltılmasına katkı sağlar (Horak, 2006).

Günümüzde VR teknolojileri, dinamik dengeyi değerlendirme ve geliştirme amacıyla sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. VR tabanlı uygulamalar, dış ortam koşullarını simüle ederek kişinin hareket sırasında maruz kaldığı duyusal uyaranları çeşitlendirir. Örneğin, yüksekliği simüle eden veya hareketli zemini görsel olarak oluşturan VR ortamları, görsel-vestibüler koordinasyonu zorlayarak dinamik denge tepkilerinin analiz edilmesine olanak tanır. Bu durum, özellikle yüksek irtifa sporları veya dengesiz zeminlerde performans gösteren bireylerin değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sağlar (Peterka, 2002).

Dinamik denge değerlendirmesinde kullanılan ölçüm yöntemleri statik dengeye göre daha karmaşıktır çünkü hareket sırasında salınımın, ağırlık transferinin ve motor kontrolün aynı anda analiz edilmesi gerekir. Biodex Balance System gibi bilgisayarlı denge ölçüm sistemleri, hareketli platform üzerinde bireyin stabilizasyon yeteneğini ve ağırlık merkezini kontrol etme performansını objektif olarak ölçmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu sistem, değişen platform seviyeleri, yön değişiklikleri ve farklı hız parametreleriyle dinamik dengeyi çok boyutlu olarak değerlendirir (Shumway-Cook ve Woollacott, 2007).

2.6. AKROFOBİ

Akrofobi, bireyin yüksek bir ortamda bulunması ya da yükseğe çıkmayı düşündüğü durumlarda belirgin bir korku ve yoğun kaygı yaşamasıyla karakterize edilen özgül bir fobi türüdür. Bu korku yalnızca gerçek bir yüksekliğe maruz kalındığında değil, yüksekliğin zihinde canlandırılması veya sanal bir ortamda oluşturulması durumunda da ortaya çıkabilmektedir (Arroll ve ark., 2016).

Literatürde akrofobinin yalnızca psikolojik kökenli bir korku tepkisi olmadığı; vestibüler sistem, görsel algı ve proprioseptif geri bildirim mekanizmaları arasındaki duyusal entegrasyonun bozulmasıyla ilişkili nörofizyolojik bileşenler içerdiği ifade edilmektedir. Özellikle yükseklik maruziyeti sırasında duyusal sistemler arasındaki uyumsuzluğun postüral kontrolü olumsuz yönde etkilediği ve buna eşlik eden kaygı düzeylerinde artışa yol açtığı bildirilmektedir. Bu durum, yüksek irtifada faaliyet gösteren sporcularda akrofobinin yalnızca algısal bir sorun değil, aynı zamanda

denge performansını ve sportif verimliliği sınırlayan önemli bir faktör hâline gelmesine neden olmaktadır (Brandt ve ark., 2015).

Akrofobi tedavisinde bilişsel-davranışçı terapi ve özellikle maruz bırakma temelli yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sanal gerçeklik uygulamaları, yüksekliği kontrollü ve güvenli bir ortamda deneyimleme imkânı sunarak tedavi sürecinde etkili bir araç hâline gelmiştir (Coelho ve ark., 2009).

Akrofobiye sahip kişilerde yüksekliğe maruz kalındığında ortaya çıkan tepkiler, diğer özgül fobilerde gözlenen bilişsel, duygusal ve davranışsal tepkilerle paralellik göstermektedir. Bu tepkiler; tehdit odaklı düşünceler, belirgin kaygı artışı, korku ve kimi zaman panik düzeyine ulaşabilen yoğun fizyolojik belirtiler şeklinde ortaya çıkabilir. Kaygı, daha çok gelecekte yaşanabilecek olası bir tehlikeye yönelik bir duyguyken; korku mevcut durumun tehlikeli olduğu algısıyla tetiklenen ve savaş-kaç tepkisine yol açan daha akut bir yanıttır. Panik atak ise kısa sürede yoğunlaşan korku duygusunu tanımlamakta olup nefes darlığı, çarpıntı, baş dönmesi ve ölüm korkusu gibi belirtilerle kendini gösterebilir (Antony ve Rowa, 2007).

Davranışsal açıdan bakıldığında, akrofobisi olan bireylerin çoğu yüksek yerlerden uzak durmayı tercih eder. Bu kaçınma davranışı kısa vadede tehdit algısını azalttığı için kişi tarafından güvenli bir çözüm olarak görülse de, uzun vadede korkunun pekişmesine ve devam etmesine neden olur. Zorunlu olarak yüksek bir ortamda bulunduklarında ise güvenlik arayışıyla kenarlardan uzaklaşmak, tutunacak bir yüzey aramak veya aşağı doğru bakmaktan kaçınmak gibi davranışlar sergileyebilirler (Antony ve Rowa, 2007).

Biyolojik açıdan değerlendirildiğinde, fobilerin ve kaygı bozukluklarının oluşumunda genetik yatkınlığın belirli bir rol oynadığı bilinmektedir (Depla ve ark., 2008; Fyer ve ark., 1995; Hettema ve ark., 2001).

Araştırmalar, genetik yatkınlığın bireylerde daha çok genel bir kaygı eğilimi oluşturduğunu; ancak belirli bir fobinin hangi nesne ya da durumla ilişkilendirileceğinin büyük ölçüde çevresel yaşantılar ve öğrenme süreçleri tarafından şekillendiğini ortaya koymaktadır. Akrofobi özelinde ise literatürde genetik etkilerin rolüne ilişkin kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bazı

çalışmalar, ikiz örneklemleri üzerinden yaptıkları değerlendirmelerde akrofobinin önemli ölçüde kalıtsal bir bileşen taşıyabileceğini ileri sürerken, diğer araştırmalar doğal çevreye yönelik korkular üzerinde anlamlı bir genetik etki saptayamamıştır. Bu farklı bulgular, akrofobinin gelişiminde genetik faktörlerin tamamen dışlanamayacağını ancak çevresel deneyimler, öğrenilmiş tepkiler ve bireysel yaşantıların daha baskın bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir (Kendler ve ark., 1999; Kendler ve ark., 2001; Skre ve ark., 2000).

2.6.1. Sporcular üzerindeki Etkileri

Akrofobi, yüksekliğin doğal bir parçası olduğu spor dallarında sporcuların performansını ciddi şekilde etkileyebilen bir unsurdur. Dağcılık, kaya tırmanışı, kayak, jimnastik, yüksek atlama ve hava sporları gibi disiplinlerde yükseğe maruz kalmak kaçınılmaz olduğundan, yükseklik korkusu yaşayan sporcular yoğun kaygı, gerilim artışı, odaklanma güçlüğü ve hareket akıcılığında bozulma yaşayabilmektedir (Coelho ve ark., 2009).

Akrofobinin sporculardaki en belirgin etkilerinden biri, denge ve koordinasyon mekanizmalarının zayıflamasıdır. Vestibüler sistemle ilişkili olarak ortaya çıkan yükseklik kaynaklı korku, sporcunun hem statik hem de dinamik denge kontrolünü bozabilir. Bu durum, teknik hareketlerin doğru uygulanmasını güçleştirirken, sporcunun güvenli hareket etme kapasitesini de sınırlamaktadır (Brandt ve ark., 2015).

Psikolojik açıdan ele alındığında, akrofobisi olan sporcular antrenman veya müsabaka sırasında yükseklik içeren durumlarla karşılaştıklarında kaçınma davranışlarına yönelebilirler. Bu tür davranışlar yalnızca performans üzerinde olumsuz etki yaratmakla kalmaz; aynı zamanda sporcuların özgüveni, motivasyonu ve spora yönelik tutumları üzerinde de negatif sonuçlar doğurabilir (Arroll ve ark., 2016).

Son yıllarda geliştirilen VR uygulamaları, akrofobi yaşayan sporcular için ümit verici bir müdahale aracı olarak öne çıkmaktadır. VR destekli antrenman programları, sporculara yüksek irtifalı ortamları risk oluşturmadan deneyimleme fırsatı sunmakta

ve yükseklikle ilişkili korkunun kademeli olarak azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Menzies ve ark., 2020).

2.6.2. Akrofobi Nedenleri

Akrofobi, biyolojik ve psikolojik süreçlerin bir araya gelmesiyle gelişen çok boyutlu bir kaygı bozukluğu olarak değerlendirilmektedir. Literatürde, bu durumun ortaya çıkmasında vestibüler sistemdeki işlevsel bozulmalar, öğrenilmiş korku tepkileri, genetik eğilimler ve geçmişte yaşanan travmatik deneyimlerin etkili olabileceği belirtilmektedir (Brandt ve ark., 2015).

2.6.2.1. Vestibüler ve Duyusal Faktörler

Akrofobinin fizyolojik temelini açıklayan yaklaşımların önemli bir kısmı, vestibüler sistem ile görsel ve somatosensoriyel girdiler arasındaki duyusal uyumun bozulmasına işaret etmektedir. Yüksek bir konumda bulunulduğunda çevresel görsel ipuçlarının azalması veya karmaşıklaşması, bireyin mekânsal konum ve hareket algısını zorlaştırarak vestibüler sistemin postüral kontrolü tek başına sürdürmesini güç hâle getirir (Steinman ve Marks, 1981).

Ayrıca bazı bireylerde vestibüler sistemin aşırı duyarlılığı veya işlevsel yetersizliği, yükseklik karşısında kaygı düzeyinin artmasına zemin hazırlayabilir. Bu durum yükseklik ortamında tutunma ihtiyacı, hareketlerde aşırı kısıtlama ve güvenlik arayışı gibi davranışsal yanıtlarla kendini gösterebilmekte olup, akrofobinin nörofizyolojik bileşenlerini destekleyen bulgular arasında kabul edilmektedir (Brandt ve ark., 2015).

2.6.2.2. Öğrenilmiş Davranışlar ve Koşullanma

Akrofobinin gelişiminde öğrenme süreçleri de önemli bir rol oynamaktadır. Klasik koşullanma modellerine göre geçmişte yaşanan bir düşme, düşme tehlikesi veya dengesini kaybetme deneyimi, yükseklikle korku tepkisini ilişkilendiren güçlü bir öğrenilmiş bağın oluşmasına neden olabilir (Menzies ve Clarke, 1993).

Bunun yanında sosyal öğrenme süreçleri de akrofobinin oluşumunda etkilidir. Çocukluk döneminde ebeveynlerin yüksekliğe ilişkin aşırı koruyucu veya tehdit

vurgulayan tutumları, çocuğun yüksekliği tehlike olarak kodlamasına ve bu kodlamanın ileriki yaşlarda fobiye dönüşmesine zemin hazırlayabilir (Menzies ve Clarke, 1993).

2.6.2.3. Genetik ve Kalıtsal Etkenler

Akrofobi yalnızca çevresel koşullarla açıklanamamakta, bazı bireylerde genetik yatkınlığın kaygı temelli bozukluklara daha açık bir yapı oluşturduğu bilinmektedir. Kaygı bozukluklarına yatkın bireyler, yükseklikle karşılaştıklarında daha hızlı ve yoğun bir korku tepkisi gösterebilmektedir (Hettema ve ark., 2001).

İkiz çalışmaları, özgül fobilerde belirli bir kalıtsal bileşenin bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte genetik faktörlerin, akrofobinin ortaya çıkma olasılığını artırdığı; ancak fobinin içeriğinin, şiddetinin ve hangi çevresel uyaranla ilişkileneceğinin daha çok öğrenme ve deneyim yoluyla şekillendiği belirtilmektedir (Hettema ve ark., 2001).

2.6.2.4. Travmatik Yaşantılar

Travmatik deneyimler de akrofobinin gelişiminde önemli bir tetikleyici olarak görülmektedir. Yüksek bir yerden düşme, düşme tehlikesi yaşama, yüksek ortamda kayma gibi olaylar, bireyin belleğinde tehdit içeren güçlü bir iz bırakabilir. Bu tür yaşantılar sonraki yükseklik karşılaşmalarında yoğun korku ve anksiyete tepkilerinin ortaya çıkmasına neden olur (Arroll ve ark., 2016).

Travma sonrası gelişen kaçınma davranışları, bireyin yükseklik içeren ortamlardan sistemli şekilde uzak durmasına yol açarak korku tepkisinin zaman içinde pekişmesine neden olur. Travmanın niteliği, kişinin olayı nasıl yorumladığı ve psikolojik duyarlılığı, akrofobinin ortaya çıkıp çıkmayacağı üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu durum, akrofobinin kişisel deneyimler ve bireysel hassasiyetlerle bağlantılı olduğunu göstermektedir (Arroll ve ark., 2016).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. GÖNÜLLÜLERİN OLUŞTURULMASI

Bu çalışmaya Erciyes Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören yaşları 18-30 yaş arası aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen 8 yamaç paraşütü 7 tırmanış branşından toplam 15 gönüllü, yine 18-30 yaş arası aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenmeyen 15 gönüllü katıldı.

3.2. DENEYSEL TASARIM

Çalışma öncesinde gönüllülere yapılacak test hakkında bilgi verildi ve bilgilendirilmiş gönüllü oluru formu (BGOF) imzalatıldı. Çalışmaya dahil edilen bireylerin, ilk olarak sosyo-demografik bilgi formu doldurulduu.

3.2.1. Sosyo-Demografik Bilgi Formu ve Akrofobi Ölçeği

Demografik bilgi formu, katılımcıların sosyodemografik ve klinik özelliklerini belirlemeye yönelik toplam 10 sorudan oluşmaktadır. Bu form aracılığıyla katılımcıların cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi gibi temel demografik özelliklerinin yanı sıra, herhangi bir psikolojik ya da nörolojik rahatsızlığa sahip olup olmadıkları ve geçmişte ya da hâlihazırda psikolojik veya psikofarmakolojik tedavi alıp almadıkları bilgileri toplanmıştır. Ardından gönüllülere (Cohen, 1977) tarafından yüksekliğe yönelik fobisi bulunan bireylerin, yükseklik içeren durumlarda yaşadıkları kaygı düzeylerini ve bu durumlardan kaçınma eğilimlerini ölçmek amacıyla oluşturulmuş anket ile kaygı ve kaçınma durumları kaydedildi. Ölçek, her biri 20 maddeden oluşan iki alt boyuttan meydana gelmektedir: kaygı ve kaçınma. Katılımcılardan yükseklikle ilişkili 20 farklı durumu ilk alt boyutta 1 (Hiç) ile 6 (Çok fazla) arasında kaygı düzeyi açısından, ikinci alt boyutta ise 0 (Kaçınmam) ile 2 (Her koşulda kaçınırım) arasında kaçınma derecesine göre puanlamaları istenmektedir. Ölçeğin uygulama süresi yaklaşık 5 dakikadır. Her iki alt ölçekten elde edilen puanlar ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Kaygı alt ölçeğinden alınabilecek puanlar 0-120 arasında, kaçınma alt ölçeğinden alınabilecek puanlar ise 0-60 arasında

değişmektedir. Yüksek puanlar, bireyin yaşadığı kaygı ve kaçınma düzeyinin arttığını göstermektedir. Yüksek puanlar, bireyin yaşadığı kaygı ve kaçınma düzeyinin arttığını göstermektedir. Ölçeğin güvenirliği Baker, Cohen ve Saunders (1973) tarafından incelenmiş; kaygı alt ölçeği için Cronbach alfa değeri 0.82, kaçınma alt ölçeği için ise 0.70 olarak raporlanmıştır. Ölçeğin Türkçe uyarlaması ve psikometrik özelliklerinin değerlendirilmesi Ayhan ve arkadaşları (2018) tarafından gerçekleştirilmiş ve çalışma kapsamında 300 katılımcı yer almıştır. Yapılan analizler sonucunda iç tutarlılığı olumsuz etkileyen herhangi bir maddeye rastlanmamıştır. Türkçe formun güvenirlik katsayıları kaygı alt ölçeği için 0.92, kaçınma alt ölçeği için 0.90 olarak hesaplanmış ve ölçeğin yüksek düzeyde güvenilir olduğu belirlenmiştir. Yapı geçerliliğini incelemek amacıyla doğrulayıcı faktör analizi uygulanmış ve sonuçlar, ölçeğin orijinal formdaki iki faktörlü yapısıyla uyumlu olduğunu göstermiştir (Vogt, 2021).

3.2.2. Biodex Balance System

Bu tezde, Biodex Balance System (Şekil 3.1.) yardımıyla denge kadranları ve alanları referans alınarak vücut ağırlık merkezinin değişen konumu incelendi. Katılımcıların overall stability indexini, anterior/posterior indexini, medial lateral indexini kayıt ederek bireyin platform üzerindeki salınım miktarını, dengenin öne arkaya doğru ne kadar bozulduğunu ve dengenin sağa sola doğru olan salınımı hasaplandı. Hesaplama işlemi Biodex Balance System cihazında statik ve dinamik parametresinin seçilmesi ile cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanıp kayıt edildi.



Şekil 3.1. Biodex Denge Sistemi

3.2.3. Meta Quest 3 Sanal Gerçeklik Gözlüğü (Virtual Reality – VR)

Araştırmada katılımcıların sanal ortamda yüksekliğe maruz kalma durumlarının denge performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Meta Quest 3 (Şekil 3.2) ile Virtual Reality–VR tabanlı bir yükseklik deneyimi uygulanmıştır. Kullanıcıyı tamamen görsel bir sanal çevreye dahil ederek yüksek platform simülasyonlarını gerçekçi bir mekânsal deneyim hâline getirmiştir. Uygulama sırasında katılımcılara VR gözlüğü aracılığıyla yüksek bir platformda durma, kenardan aşağı bakma, simülasyonlar gösterilmiştir. Deney sırasında tüm katılımcılardan platform üzerinde sabit durmaları ve VR ortamında sunulan yüksekliğe odaklanmaları istenmiştir. Bu esnada denge performansındaki değişimlerin doğru değerlendirilebilmesi amacıyla VR uygulaması ile Biodex Dinamik Denge Sistemi eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Şekil 3.3.'de simülasyon görselleri verilmiştir.

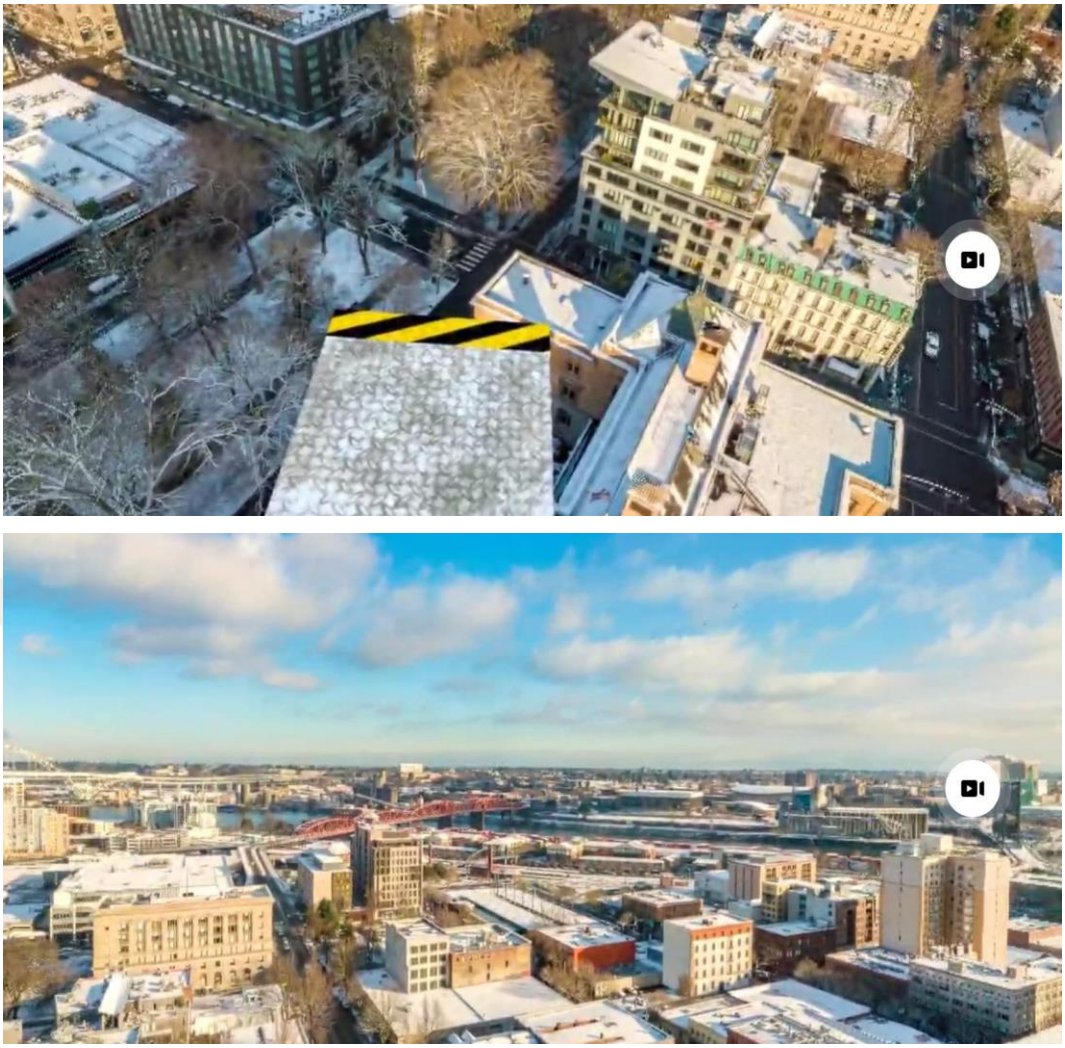


Şekil 3.2. Meta Quest 3 Sanal Gerçeklik Gözlüğü

Kullanıcıyı tamamen görsel bir sanal çevreye dahil ederek yüksek platform simülasyonlarını gerçekçi bir mekânsal deneyim hâline getirmiştir. Uygulama sırasında katılımcılara VR gözlüğü aracılığıyla yüksek bir platformda durma, kenardan aşağı bakma, simülasyonlar gösterilmiştir (Şekil 3.3.).



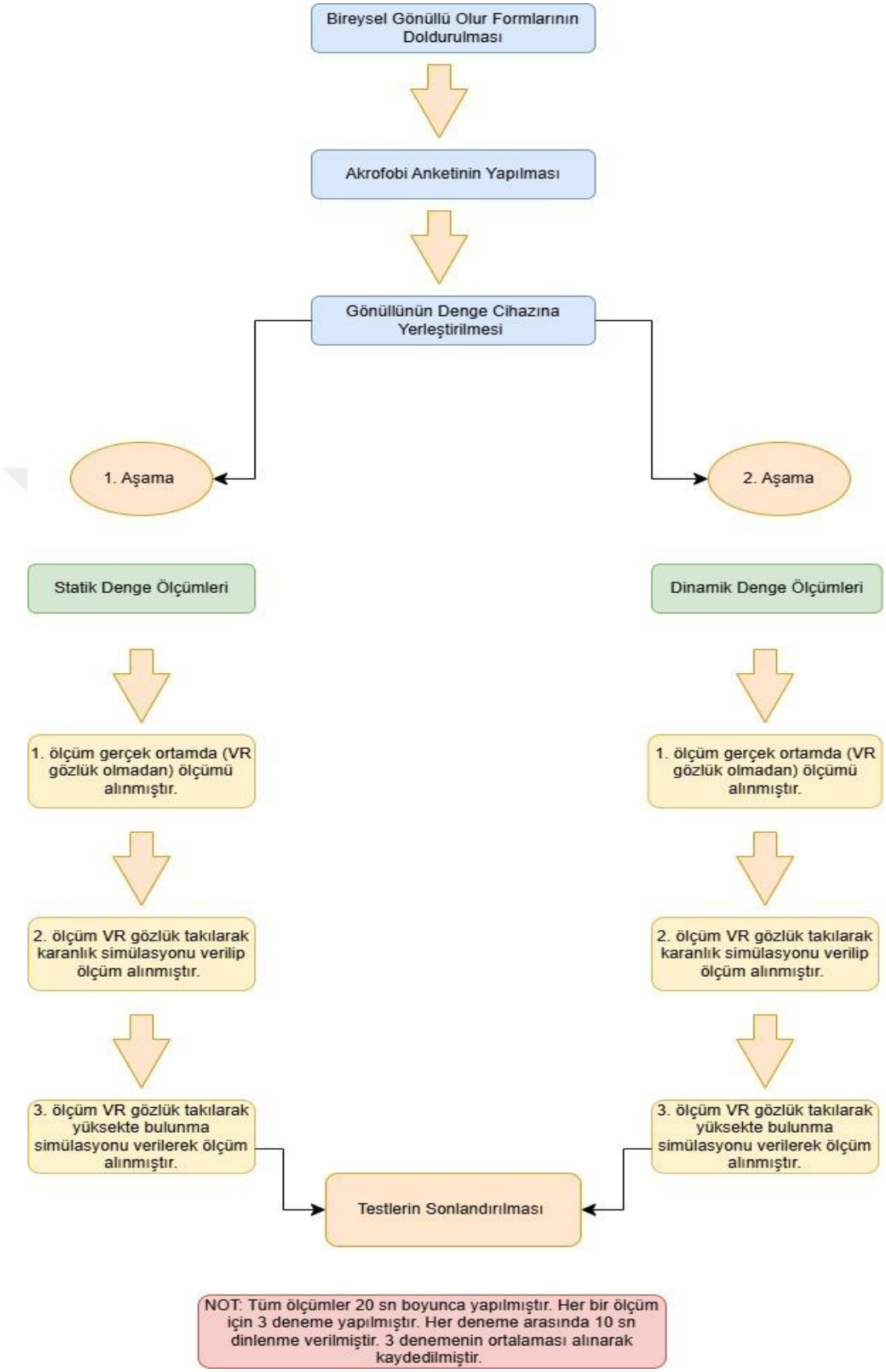
Şekil 3.3. Sanal gerçeklik ortamında katılımcılara sunulan yüksekten bakış içeren görsel sahne örneği.



Şekil 3.3. Sanal gerçeklik ortamında katılımcılara sunulan yüksekten bakış içeren görsel sahne örneği (devamı)

Sanal gerçeklik ortamında gönüllülerin yüksekte bulunma olanağını sağlayarak statik ve dinamik zeminde ölçümleri kaydedilmiştir.

Bu araştırmada uygulanan deneysel süreç, katılımcıların ön değerlendirme aşamalarından başlayarak statik ve dinamik denge ölçümlerinin farklı koşullarda uygulanmasına kadar uzanan sistematik bir yapıda planlanmıştır. Öncelikle gönüllü olur formlarının doldurulmasının ardından katılımcıların akrofobi düzeyleri belirlenmiş ve denekler denge ölçüm cihazına yerleştirilmiştir. Devam eden aşamalarda katılımcıların statik ve dinamik denge performansları; gerçek ortam, VR gözlük ile karanlık simülasyonu ve VR gözlük ile yüksekte bulunma simülasyonu koşullarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Aşağıda sunulan akış şeması, çalışmanın tüm uygulama adımlarını sistematik ve anlaşılır bir biçimde özetlemektedir.



Şekil 3.4. Deneysel sürecin akış şeması.

Uygulanan test prosedürü aşağıda belirtildiği gibi oluşturulmuştur:

Test Prosedürü 1: Yalın Ayak ve Gerçek Ortamda Statik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

Test Prosedürü 2: Yalın Ayak ve Karanlık Ortamda Statik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

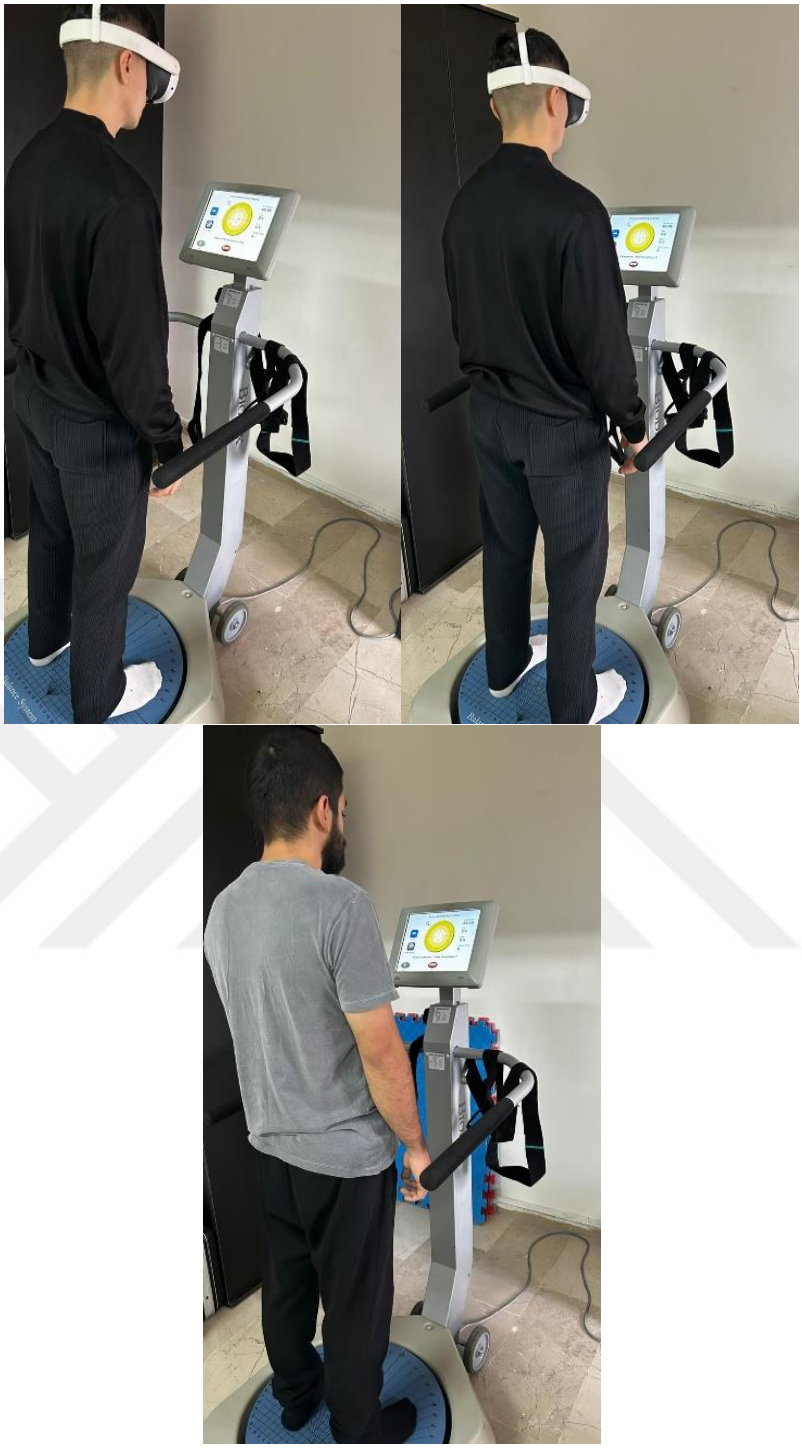
Test Prosedürü 3: Yalın Ayak ve Yüksek Ortamda Statik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

Test Prosedürü 4: Yalın Ayak ve Gerçek Ortamda Dinamik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

Test Prosedürü 4: Yalın Ayak ve Karanlık Ortamda Dinamik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

Test Prosedürü 4: Yalın Ayak ve Yüksek Ortamda Dinamik Denge Ölçümü (30 saniye) Tekrar (3) Dinlenme (10 saniye)

Ölçüm alınma anında gönüllülerin Biodex denge aleti üzerinde duruşu şekil 3.5. de gösterilmiştir. Çalışmada gönüllülerden düz pozisyonda çift ayak üzerinde ayaklar omuz genişliğinde açık olacak şekilde denge matının üzerinde durmaları istendi. Test statik ve dinamik denge içinde üç durumda incelendi. Durumlar sırasıyla gerçek ortam, karanlık ortam ve sanal gerçeklik ile yüksek ortamda ölçüldü. Gönüllülerden test süresi boyunca konuşmamaları ve hareket etmemeleri istendi. Dengesini koruyamayan veya herhangi bir sebeple testi tamamlayamayan katılımcıların testi yeniden başlatıldı. Çalışmada sanal gerçeklik gözlüğü ile yapılmış ölçümler, denge ölçümü amacıyla kullanılan Biodex Denge Sistemi ve duruş pozisyonu şekil 3.5.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.5. Denge aleti ve VR gözlük ile yapılan ölçümler.

4. BULGULAR

Tablo 4.1. Overal Stability İndeksi için Grup, Zemin, Durum Farkları Karma desen ANOVA Sonuçları

Değişken	Koşul	Deney Grubu		Kontrol Grubu		Grup	Zemin	Durum	Etkileşim
		Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	P değeri			
Stability Index	Karanlık	1,51±0,62	3,23±1,35	1,58±0,52	2,83±1,28	0,690	<0,001	<0,001	ZxD <0,001
	Yükseklik	1,48±0,46	2,35±0,74	1,71±0,67	2,47±1,08				
	Gerçek	0,34±0,12	0,83±0,24	0,42±0,17	1,03±0,48				

Overall Stability Index değişkeni için zemin ana etkisi (P <0,001, EB=0.64), durum ana etkisi ve zemin x durum etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulundu (P <0,05).

Tablo 4.2. Anterior-Posterior Stabilite İndeksi İçin Grup, Zemin, Durum Farkları Karma Desen Anova Sonuçları

Değişken	Koşul	Deney Grubu		Kontrol Grubu		Grup	Zemin	Durum	Etkileşim
		Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	P değeri			
Anterior-Posterior Index	Karanlık	1,16±0,59	2,431±1,34	1,27±0,53	1,68±0,69	0,970	<0,001	<0,001	DxG 0,037
	Yükseklik	1,05±0,39	1,77±0,76	1,38±0,67	1,87±0,87				
	Gerçek	0,26±0,09	0,62±0,21	0,30±0,12	0,77±0,38				

Anterior-Posterior Index değişkeni için zemin ana etkisi (P <0,001), zemin ana etkisi ve durum x grup etkileşimi istatiksel olarak anlamlı bulundu (P <0,05).

Tablo 4.3. Medial-Lateral Stabilite İndeksi İçin Grup, Zemin, Durum Farkları Karma Desen Anova Sonuçları

Değişken	Koşul	Deney Grubu		Kontrol Grubu		Grup	Zemin	Durum	Etkileşim
		Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	P değeri			
Medial-Lateral Index	Karanlık	0,69±0,44	1,97±1,22	0,68±0,54	1,19±1,09	0,60	<0,001	<0,001	ZxD <0,001
	Yükseklik	0,68±0,53	1,25±0,41	0,86±0,49	1,31±0,73				
	Gerçek	0,16±0,07	0,43±0,15	0,21±0,11	0,49±0,17				

Medial-Lateral Index değişkeni için zemin ana etkisi (P <0,001), durum ana etkisi ve zemin x durum etkileşimi istatiksel olarak anlamlı bulundu (P <0,05).

Tablo 4.4. Koşul ve Zemin Durumları İçin Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

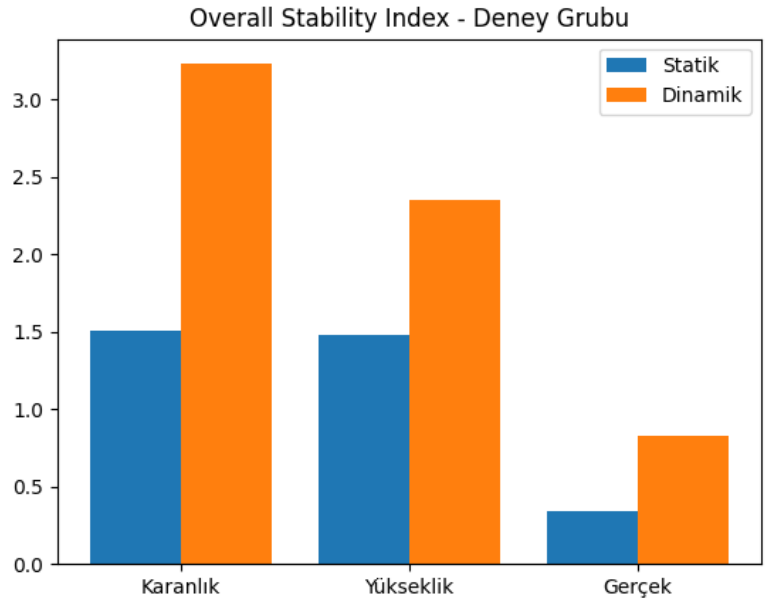
Değişken	Zemin	Koşul		
		Karanlık	Yükseklik	Gerçek
Stability Index	Statik	1,54±0,56*#	1,59±0,57*#	0,38±0,15#
	Dinamik	3,04±1,34*¶#	2,41±0,91*¶#	0,93±0,39#
Anterior-Posterior Index	Statik	1,21±0,56*#	1,21±0,56*#	0,28±0,10#
	Dinamik	2,07±1,13*¶#	1,82±0,80*¶#	0,69±0,31#
Medial-Lateral Index	Statik	0,68±0,48*#	0,76±0,51*#	0,19±0,9#
	Dinamik	1,95±1,14*¶#	1,28±0,58*¶#	0,46±0,17#

* Aynı zemindeki gerçek koşuluna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı fark (P <0,05).

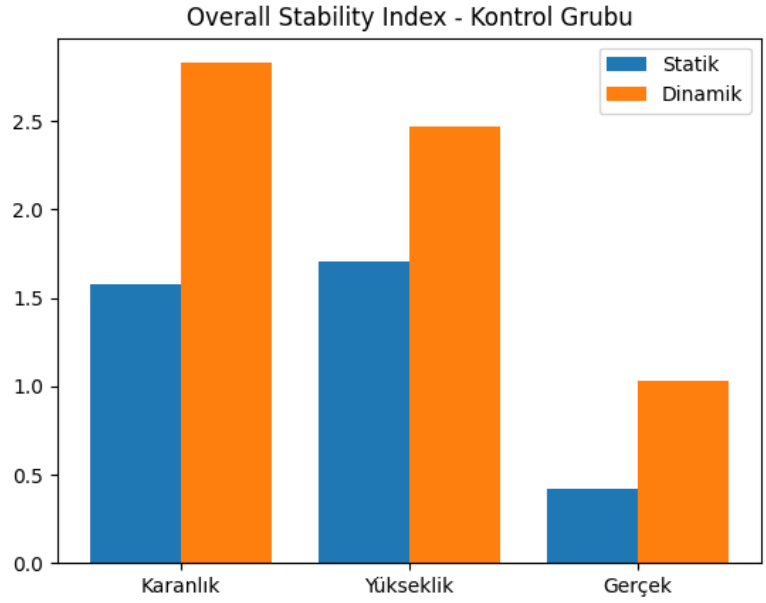
Her koşulun kendi içinde statik ve dinamik zemin arasında istatiksel olarak anlamlı fark(P <0,05).

¶ Dinamik zeminde yükselti ve karanlık koşulları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark (P <0,05).

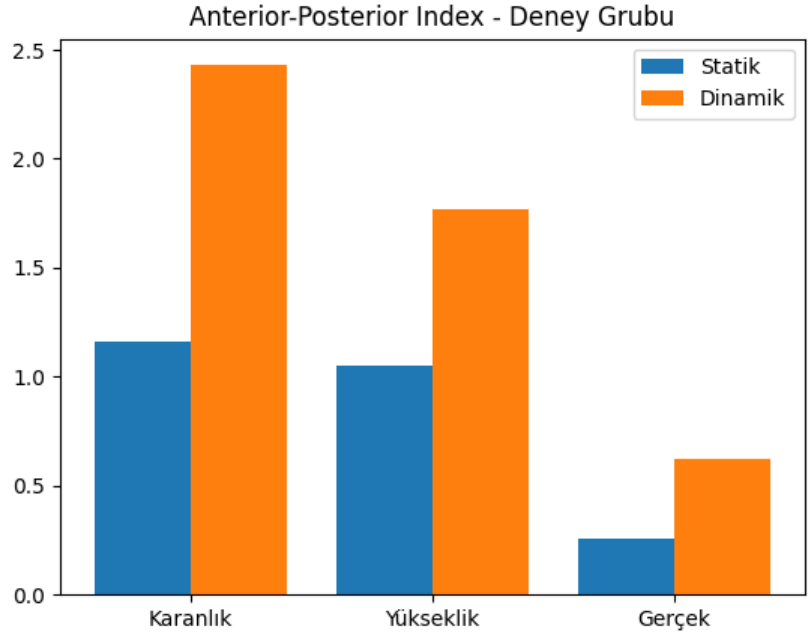
Overall Stability Index değişkeni için statik zeminde karanlık koşulu ve gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Overall Stability Index değişkeni için statik zeminde yükseklik koşulu ve gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Overall Stability Index değişkeni için dinamik zeminde karanlık koşulu ve yükseklik koşulu arasında istatiksel olarak anlamlı fark belirlendi (P <0,05). Overall Stability Index değişkeni için dinamik zeminde karanlık koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark saptandı (P <0.05). Overall Stability Index değişkeni için yükseklik koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Anterior-Posterior Index değişkeni için statik zeminde karanlık koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark saptandı (P <0,05). Anterior-Posterior Index değişkeni için statik zeminde yükseklik koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Anterior-Posterior Index değişkeni için dinamik zeminde karanlık koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark belirlendi (P <0,05). Anterior-Posterior Index değişkeni için dinamik zeminde yükseklik koşulu ile gerçek koşul arasında anlamlı olarak fark saptandı (P <0,05). Medial-Lateral Index değişkeni için statik zeminde karanlık koşulu ve gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Medial-Lateral Index değişkeni için statik zeminde yükseklik koşulu ve gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05). Medial-Lateral Index değişkeni için dinamik zeminde karanlık koşulu ve yükseklik koşulu arasında istatiksel olarak anlamlı fark belirlendi (P <0,05). Medial-Lateral Index değişkeni için dinamik zeminde karanlık koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark saptandı (P <0,05). Medial-Lateral Index değişkeni için yükseklik koşulu ile gerçek koşul arasında istatiksel olarak anlamlı fark bulundu (P <0,05).



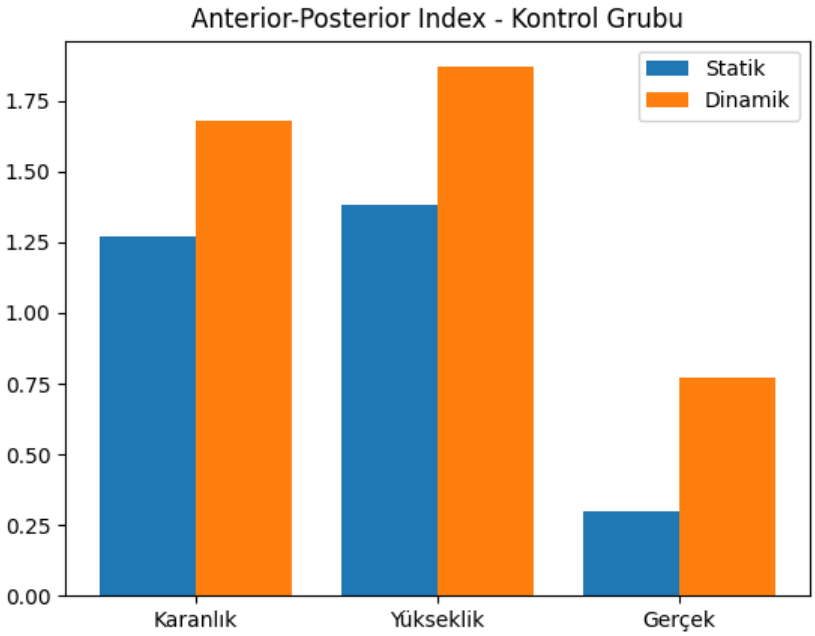
Şekil 4.1. Deney Grubu İçin Overall Stability Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler



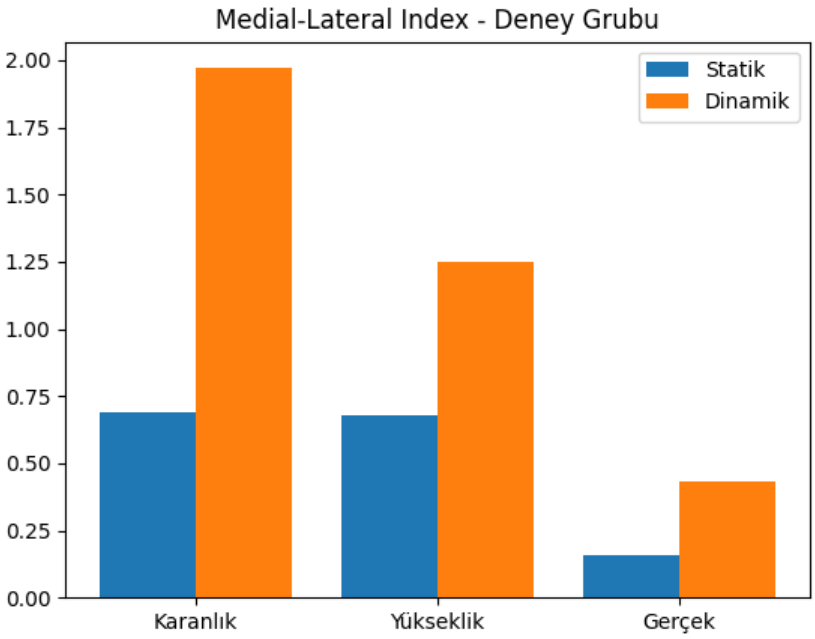
Şekil 4.2. Kontrol Grubu İçin Overall Stability Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler



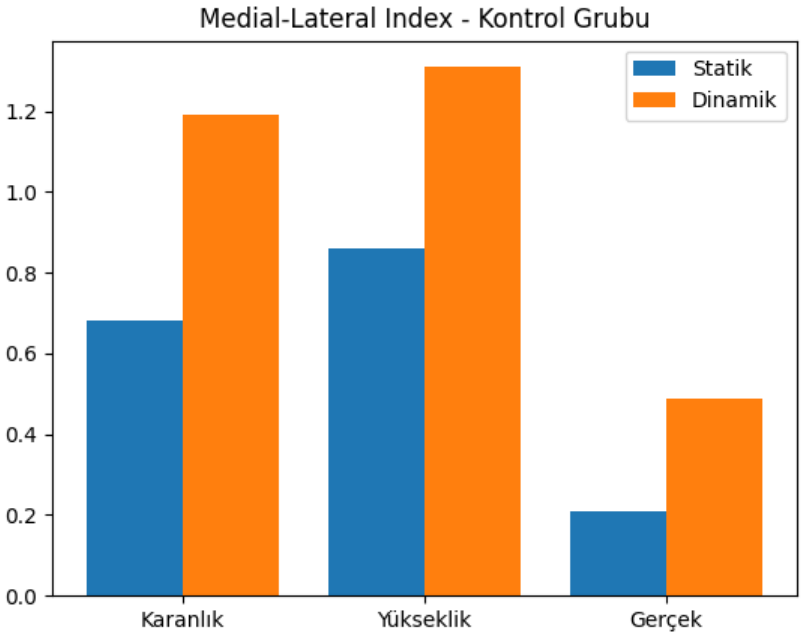
Şekil 4.3. Deney Grubu İçin Anterior-Posterior Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler



Şekil 4.4. Kontrol Grubu İçin Anterior-Posterior Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler



Şekil 4.5. Deney Grubu İçin Medial-Lateral Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler



Şekil 4.6. Kontrol Grubu İçin Medial-Lateral Index, Statik ve Dinamik Ortalama Değerler

4.1. İSTATİKSEL ANALİZ

Tanımlayıcı istatistik olarak ortalama ± standart sapma değerleri sunuldu. Kolmogorov Smirnov testi ile normal dağılım varsayımı kontrol edildi. Değişkenleri Grup (Deney, Kontrol), Zemin (Statik, Dinamik), Koşul (Karanlık, Yükseklik, Gerçek), açısından farklılıkları Mixed ANOVA ile test edildi. Sonuçlar, P değeri <0,05 anlamlılık düzeyine göre alındı. Verilerin istatiksel değerlendirmesi SPSS for Windows 30 paket programı kullanıldı.

5. TARTIŞMA

Denge; vestibüler, görsel ve somatosensoriyel sistemlerin eşgüdümlü çalışması sonucunda sağlanan çok boyutlu bir kontrol sürecidir. Statik denge, vücut hareketsizken ağırlık merkezinin korunmasını ifade ederken; dinamik denge, hareket sırasında veya dengesizliği ortaya çıkaran uyaranlar karşısında postürün korunmasını gerektirir. Literatürde, dinamik denge performansının özellikle hareket hızı, çevresel uyaran çeşitliliği ve proprioseptif geri bildirimden etkilendiği belirtilmektedir (Paillard, 2017).

Sanal gerçeklik ortamları, gerçek yüksekliğin fiziksel risklerini içermeden vestibüler ve görsel uyaranları manipüle edebilme imkânı sunarak, yükseklik algısı ve denge performansı üzerinde kontrollü biçimde etki yaratabilmektedir. Bu nedenle VR tabanlı yükseklik maruziyetinin sporcularda denge performansını geliştirmeye yönelik potansiyeli güncel literatürde giderek daha fazla ilgi görmektedir (Brandt ve ark., 2015; Novak ve ark., 2023). Yükseklik uyaranına maruz kalmanın, postüral salınım ve ağırlık merkezi kontrolünde değişikliklere yol açtığı, bunun da kişilerde denge mekanizmalarının yeniden düzenlenmesine neden olabileceği ifade edilmektedir (Arroll ve ark., 2016; Steinman ve Marks, 1981).

Akrofobi, yüksekliğe maruz kalma veya yükseklik algısının oluştuğu durumlarda yoğun kaygı, kaçınma davranışı ve otonom sinir sistemi tepkileri ile karakterize bir özgül fobi türüdür. Literatürde akrofobinin gelişiminde genetik yatkınlık, travmatik yaşantılar ve bilişsel çarpıtmaların etkili olabileceği belirtilmektedir (Arroll ve ark., 2016). Akrofobi ile ilişkili çalışmalarda ise, yüksek düzeyde kaygı ve kaçınma davranışı gösteren bireylerde denge performansının daha olumsuz etkilendiği bildirilmektedir. Görsel yükseklik intoleransına sahip bireylerde, yüksek ortamlarda ağırlık merkezi kontrolünün bozulduğu ve postüral stabilitenin azaldığı ifade edilmektedir (Brandt ve ark., 2015; Huppert ve ark., 2020). Bu çalışmalar, psikolojik kaygı düzeyinin denge performansı üzerinde belirleyici bir faktör olabileceğini ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmada ise literatürde bildirilen bazı bulgulardan farklı olarak, hem yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcularda hem de kontrol grubunda klinik düzeyde akrofobiye rastlanmamıştır.

Ayrıca deney ve kontrol grupları arasında genel denge performansı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu durum, çalışmaya katılan bireylerin spor geçmişine sahip olmaları ve yükseklik uyaranlarına karşı düşük kaygı düzeyi sergilemeleri ile açıklanabilir. Literatürde, düzenli fiziksel aktivite yapan bireylerin duyusal entegrasyon süreçlerinin daha etkin olduğu ve denge kontrolünde daha stabil yanıtlar verdikleri bildirilmektedir (Hrysomallis, 2011; Paillard, 2017).

Böylelikle çalışmamızın amacı olan aşırı yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcular ile bu spor dallarıyla ilgilenmeyen bireylerin sanal olarak yükseklikte bulunma deneyimlerinin statik ve dinamik dengeleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Araştırmaya katılan yüksekte bulunmayı gerektiren spor dalları sporcularının akrofobi kaygı ölçeği ortalamaları 6,69±1,48, akrofobi kaçınma ölçeği ortalamaları 1,50±0,35, yaş ortalamaları 21,50±0,65 olarak tespit edilmiştir. Yüksekte bulunmayı gerektirmeyen bireylerin akrofobi kaygı ölçeği ortalamaları 8,73±1,91, akrofobi kaçınma ölçeği ortalamaları 2,00±0,50, yaş ortalamaları 20,00±0,29 olarak tespit edilmiştir. Çalışmaya yüksekte bulunmayı gerektiren branşla ilgilenen sporcu grubundan 16 gönüllü bunlardan yamaç paraşütü branşı ile ilgilenen 7 sporcu tırmanış branşı ile ilgilenen 9 sporcu katılım sağlamıştır. Bu spor dallarıyla ilgilenmeyen kontrol grubundan iste 15 gönüllü katılmıştır. Yamaç paraşütü branşı, tırmanış branşı ile ilgilenen gönüllüler ve yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenmeyen gönüllülerden toplam 31 kişi katıldığı tespit edilmiştir.

Tırmanış, yamaç paraşütü branşı ile ilgilenen ve yüksekte bulunmayı gerektiren spor dalları ile ilgilenmeyen gönüllülerin akrofobi kaygı ve kaçınma ölçeği sonucunda her iki gruptada belirgin akrofobi düzeyi saptanmamıştır.

Overall Stability Index, postural kontrolün genel düzeyini değerlendirmek için kullanılan kapsamlı bir denge parametresidir ve hem anterior-posterior hem de medial-lateral salınımları bir arada ele alır. Overall Stability Index' in yüksek değerleri, postüral stabilitenin zayıf olduğunu ve denge kontrolünde dengesizliklerin bulunduğunu gösterirken; düşük Overall Stability Index değerleri daha etkili bir denge performansına işaret eder (Shumway-Cook ve Woollacott, 2007). Bu indeks, dinamik denge değerlendirmelerinde özellikle yaralanma riski taşıyan bireylerde ve

sporcularda performans ölçümü amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (Behm ve Anderson, 2006).

Araştırmaya katılan deney ve kontrol grubunun, genel stabilite değişkeni için statik ve dinamik zeminde gerçek ortam koşulunda bulunmanın karanlık ortam koşulunda bulunmaya kıyasla genel denge performansı daha yüksek kontrol sağlandığı gözlemlenmiştir. Yine genel stabilite değişkeni için statik ve dinamik zeminde gerçek ortam koşulunda bulunmanın yüksek ortam koşulunda bulunmaya kıyasla genel denge performansı daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Dinamik zeminde genel stabilite değişkeni için yüksek ortam koşulunda bulunmanın karanlık ortam koşulunda bulunmaya kıyasla genel denge performansının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, katılımcıların postüral kontrolünü en etkin şekilde gerçek ortam koşullarında sağladıklarını, denge performansının karanlık ve yüksek ortam koşullarında ise belirgin biçimde azaldığını göstermekte olup; özellikle görsel referansların varlığının ve çevresel algının denge kontrolü üzerinde kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Anterior-Posterior Stabilite İndeksi, postüral kontrol ve denge performansının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan objektif bir parametredir. Bu indeks, kişinin öne-arkaya (anterior ve posterior) yönde ortaya çıkan denge salınımlarını ölçerek, merkezi sinir sistemi tarafından postural kontrolün ne derece etkin sürdürüldüğünü gösterir (Pereira ve ark., 2008). Yüksek Anterior-Posterior Stabilite İndeksi değerleri genellikle denge bozukluğu ve kontrol eksikliğini yansıtırken, daha düşük değerler iyi postural stabilite ile ilişkilendirilmektedir. Bu ölçümler, özellikle dinamik stres altında postural stabiliteyi bu açıdan analiz etmeye olanak tanıyan Biodex gibi cihazlarla yapılmaktadır; bu sayede bireylerin farklı zemin ve uyaran koşullarında dengeye karşı verdikleri tepkiler niceliksel olarak değerlendirilebilmektedir (Pereira ve ark., 2008).

Araştırmaya katılan Anterior- Posterior Stabilite indeksi için deney grubu kontrol grubuna kıyasla öne-arkaya postür salınımının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Anterior- Posterior Stabilite indeksi için deney grubunda yüksek ortam koşulunda bulunmanın karanlık ortam koşulunda bulunmaya kıyasla ön-arkaya postür salınımının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Ant-Post için

araştırmaya katılan deney ve kontrol grubunda gerçek ortamda bulunmanın karanlık ortamda bulunmaya kıyasla ön-arkaya postür salınımının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Ant-Post için araştırmaya katılan deney ve kontrol grubunda gerçek ortamda bulunmanın yüksek ortamda bulunmaya kıyasla ön-arkaya postür salınımının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir.

Anterior-posterior stabilite verileri değerlendirildiğinde, deney grubunun kontrol grubuna kıyasla öne-arkaya postüral salınımları daha iyi yönetebildiği ve bu eksendeki denge kontrolünün daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca deney grubunun yüksek ortam koşullarında karanlık ortama göre daha iyi performans göstermesi, görsel girdilerin kısmen mevcut olduğu durumlarda öne-arkaya yönlü stabilitenin daha etkili sağlandığını düşündürmektedir. Bununla birlikte hem deney hem de kontrol gruplarında gerçek ortam koşullarının yüksek ve karanlık koşullara göre anterior-posterior stabiliteyi daha fazla desteklediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, postüral kontrolün öne-arkaya düzlemde özellikle gerçek ortam referansları ile güçlendiğini, görsel ve çevresel algının azalmasının ise bu düzlemdeki stabiliteyi olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Medial–Lateral Stabilite İndeksi (MLSI), bireyin denge kontrolünü sağlarken ağırlık merkezindeki sağ-sol yönlü salınımları değerlendiren önemli bir parametredir. Bu ölçüt, özellikle kalça stratejisinin hâkim olduğu postural kontrol durumlarında belirleyici olmakta ve lateral düzlemdeki stabiliteyi niceliksel olarak göstermektedir. MLSI değerlerinin artması, postüral kontrolün lateral eksende zorlandığını ve dengenin sürdürülmesinde daha fazla kompansasyon gerektirdiğini düşündürmektedir. Buna karşılık düşük MLSI değerleri, sensörimotor sistemlerin lateral düzlemde daha etkili çalıştığını ortaya koymaktadır (Hrysomallis, 2011). Literatürde lateral stabilitenin, düşme riskinin değerlendirilmesinde ve özellikle sporcularda lateral hareket becerileriyle ilişkili performansın belirlenmesinde kritik olduğu, çünkü lateral yönde oluşan dengesizliklerin yaralanma riskini artırabileceği ifade edilmektedir (Lesinski ve ark., 2015).

Araştırmaya katılan deney ve kontrol grubunun, medial-lateral stabilite indeksi için statik ve dinamik zeminde gerçek ortam koşulunda bulunmanın karanlık ortam koşulunda bulunmaya kıyasla sağ-sola doğru denge salınımı daha yüksek kontrol

sağlandığı gözlemlenmiştir. Yine medial-lateral stabilite indeksi için statik ve dinamik zeminde gerçek ortam koşulunda bulunmanın yüksek ortam koşulunda bulunmaya kıyasla sağ-sola doğru denge salınımı daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Dinamik zeminde medial-lateral stabilite indeksi için yüksek ortam koşulunda bulunmanın karanlık ortam koşulunda bulunmaya kıyasla sağ-sola doğru denge salınımının daha yüksek kontrol sağladığı gözlemlenmiştir. Medial-lateral stabilite indeksi açısından elde edilen bulgular, hem deney hem de kontrol grubunda gerçek ortam koşullarının sağ-sol yönlü postüral kontrolü karanlık ve yüksek ortam koşullarına kıyasla daha etkili desteklediğini göstermektedir. Gerçek ortamda sunulan görsel ve çevresel referansların, lateral düzlemde ağırlık merkezi salınımını daha iyi düzenlediği ve böylece denge kontrolünü artırdığı söylenebilir. Ayrıca dinamik zemin koşullarında yüksek ortamın karanlık ortama göre daha yüksek stabilite sağlaması, görsel girdilerin tamamen ortadan kaldırılması yerine kısmen azaltılmasının lateral denge stratejilerini daha az zorladığını düşündürmektedir. Bu bulgular, medial-lateral düzlemde postüral stabilitenin özellikle çevresel algı ve görsel ipuçları ile güçlendiğini; karanlık koşulların ise lateral eksende destabilizan etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonuçları, yüksekte bulunmayı gerektiren spor dallarıyla ilgilenen sporcular ile bu tür sporlarla ilgilenmeyen bireyler arasında akrofobi düzeyi ve genel denge performansı açısından anlamlı bir fark bulunmadığını ortaya koymuştur. Sanal gerçeklik ortamında oluşturulan yükseklik, karanlık ve gerçek ortam koşulları karşılaştırıldığında, en yüksek denge kontrolünün gerçek ortam koşullarında sağlandığı, karanlık ortamın ise dengeyi en fazla zorlayan koşul olduğu belirlenmiştir. Anterior-posterior ve medial-lateral stabilite indeksleri değerlendirildiğinde, postüral kontrolün çevresel faktördeki değişimlere karşı duyarlı olduğunu ve kişinin mekânsal algısı yani çevresel konumlanma algısıyla bağlantılı oldunu görmekteyiz. Dinamik zemin koşullarında yüksek ortamın karanlık ortama göre daha iyi denge kontrolü sağlaması, görsel girdilerin tamamen ortadan kalkmasının dengeyi daha olumsuz etkilediğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, sanal gerçeklik tabanlı yükseklik maruziyeti, kısa süreli uygulamalarda denge performansını anlamlı düzeyde değiştirmemekle birlikte; denge değerlendirmelerinde çevresel koşulların ve duyusal girdilerin dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, daha uzun maruziyet süreleri, farklı yükseklik seviyeleri ve akrofobi düzeyi yüksek bireylerin dahil edilmesi, sanal gerçeklik uygulamalarının denge ve kaygı üzerindeki etkilerinin daha net biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

7. KAYNAKLAR

Adkin AL, Campbell AD, Chua R, Carpenter MG. The influence of postural threat on the control of upright stance. Exp Brain Res, 2000; 135(4) : 385–394.

Allum JHJ, Bloem BR, Carpenter MG, Hulliger M, Hadders-Algra M. Proprioceptive control of posture: A review of new concepts. Gait Posture, 1998; 8(3) : 214–242.

Antony MM, Rowa K. Overcoming the fear of heights. Oakland, CA: Raincoast Books. 2007.

Arroll B, Chin WY, Martis W, Goodyear-Smith F, Mount V, Kingsford D, Hatcher, S. Antidepressants for treatment of anxiety disorders in primary care. Cochrane review, 2016; 8(4) : 325-334.

Ayhan Ö, Vogt G, Metin B. Yetişkinler için akrofobi ölçeğinin Türkçe geçerlilik ve güvenirliğinin incelenmesi. Üsküdar Üniversitesi, İstanbul. 2018

Azadinia F, Abbasi A, Rostami M. Effects of balance training on static and dynamic balance performance. J Bodyw Mov Ther, 2018; 22(3) : 750–755.

Baker BL, Cohen DC, Saunders JT. Self-directed desensitization for acrophobia. Behav Res Therapy, 1973; 11(1) : 79–89.

Behm DG, Anderson KG. The role of instability with resistance training. JSCR, 2006; 20(3) p: 716–722.

Brandt T, Huppert D, Dieterich M. Phobias related to vestibular dysfunction. In M. J. Aminoff, F. Boller, D. F. Swaab (eds), Handbook of Clinical Neurology, 2015; :247–259.

Bressel E, Yonker JC, Kras J, Heath EM. Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. J Athl Train, 2007; 42(1) : 42–46.

Brown LA. Postural responses to threat of falling. J Vestib Res, 1997; 7(2–3) : 123–134.

Cleworth TW, Horslen BC, Carpenter MG. Influence of real and virtual heights on postural reactions**.** Gait Posture, 2012; 36(2) : 172–177.

Coelho CM, Waters AM, Hine TJ, Wallis G. The effects of visual height exposure on postural control in acrophobia. CBT, 2009; 38(2) p:110–120.

Coelho CM, Waters AM, Hine TJ, Wallis G. The use of virtual reality in acrophobia research and treatment. J Anxiety Disord, 2009; 23(5) : 563–574.

Cohen DC. Comparison of self-report and overt-behavioral procedures for assessing acrophobia. Behav Ther, 1977; 8 : 17–23.

Corriveau H, Hébert R, Prince F, Raîche M. Postural control in the elderly: An analysis of test–retest and interrater reliability of the COP–COM measures. Arch Phys Med Rehabil, 2001; 82(1): 80–85.

Cullen KE. Vestibular processing during natural self-motion: Implications for perception and action. Nat Rev Neurosci, 2019; 20(6) : 346–363.

Demir Ö, Karadağ M. Sporcularda propriyoseptif duyunun motor performans üzerindeki etkileri. Spor Bilimleri Dergisi, 2021; 12(3) : 145–156.

Depla MFIA, ten Have ML, van Balkom AJLM, de Graaf R. Specific fears and phobia in the general population: Results from the Netherlands Mental Health Survey and Incidence Study (NEMESIS). Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol, 2008; 43(3) : 200–208.

Duarte M, Freitas SMSF. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. Rev Bras Fisioter, 2010; 14(3) : 183–192.

Erdoğan T, Yıldız A. Nöroplastisite ve kortikal reorganizasyon: Öğrenme ve rehabilitasyon açısından güncel yaklaşımlar. J Neurol Sci, 2020; 37(2) : 150–158.

Fyer AJ, Mannuzza S, Chapman TF, Martin LY, Klein DF. A direct interview family study of social phobia. AMA Arch Gen Psychiatry, 1995; 52(4), : 286–293.

Goble DJ, Coxon JP, Van Impe A, Geurts M, Doumas M, Wenderoth N, Swinnen SP. Proprioceptive sensibility in the elderly: Degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. Neurosci Biobehav Rev, 2009; 33(3) : 271–278.

Goldie PA, Bach TM, Evans OM. Force platform measures for evaluating postural control: Reliability and validity. Arch Phys Med Rehabil, 1989; 70(7) : 510–517.

Goodale MA, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. Trends in Neurosciences,1992; 15(1) : 20–25.

Granacher U, Gollhofer A, Strass D, Muehlbauer T. The relationship between strength, power, and balance in young adults. J Strength Cond Res, 2010; 24(3) : 545–551.

Guldin WO, Grüsser OJ. Is there a vestibular cortex? Trends in Neurosciences, 1998; 21(6) p: 254–259.

Gündoğdu C, Aygün Y, Ilkım M, Tüfekçi Ş. Explaining the impact of disabled children's engagement with physical activity on their parents' smartphone addiction levels**.** J educ train stud, 2018; 6(2) : 44–53.

Gürkan AC, Demirel H, Demir M, Atmaca EŞ, Bozöyük G, Dane S. Effects of long-term training program on static and dynamic balance in young subjects. CIM ,2016; 39(6): 31–36.

Gürsoy F. Somatosensöriyel korteks ve homunkulus modeli üzerine güncel değerlendirmeler. Turk Nörol Derg, 2018; 25(1): 45–52.

Hall JE. Guyton ve Hall tıbbi fizyoloji (12. baskı). Nobel Tıp Kitabevleri. 2013; p: 559-679.

Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y. Assessing proprioception: A critical review of methods. JSHS, 2015; 5(1): 80–90.

Hanes DA. Mathematical requirements of visual–vestibular integration. J Math Biol, 2012; 65 : 1245–1266.

Hettema JM, Neale MC, Kendler KS. A review and meta-analysis of the genetic epidemiology of anxiety disorders. Am J Psychiatry, 2001; 158(10) : 1568–1578.

Hitier M, Besnard S, Smith PF. Vestibular pathways involved in cognition. Front Integr Neurosci, 2014; 8 : 59.

Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age and Ageing, 2006; 35(Suppl. 2): ii7–ii11.

Horak FB, Macpherson JM. Postural orientation and equilibrium. In LB Rowell & JT Shepherd (Ed.), Handbook of physiology: Section 12. Exercise: Regulation and integration of multiple systems 1996; p: 255–292.

Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. Sports Medicine, 2008; 38(12) : 1009–1026.

Hrysomallis, C. Balance training for sports injury prevention. Sports Medicine, 2011; 41(3) : 221–232.

Huppert D, Wuehr M, Brandt T. Acrophobia and visual height intolerance: Advances in epidemiology and mechanisms. J Neurol, 2020; 267(1) : 231–240.

Ichihashi N, Matsuda T, Tsutsumi S, Ye L. Relationship between balance strategy and lower limb joint torque during forward disturbance. J Phys Ther Sci, 2020; 32(6) : 393–398.

Kaas JH. The organization of the human somatosensory cortex. The Neuroscientist, 2021; 27(2) : 111–124.

Kaya S, Şimşek H. Propriyoseptif antrenmanın eklem stabilitesi ve sensörimotor kontrol üzerine etkileri. Fizyoterapi Rehabilitasyon Dergisi, 2019; 30(2): 85–93.

Kejonen P, Kauranen K. Reliability and validity of standing balance measurements with a motion analysis system. Physiotherapy, 2002; 88(1): 25–32.

Kendler KS, Karkowski LM, Prescott CA. Fears and phobias: Reliability and heritability. Psychological Medicine, 1999; 29(3): 539–553.

Kılıç E, Atalay B. Sensörimotor entegrasyonun kortikal temelleri: Nörogörüntüleme bulguları. Neuroscience Reports, 2022; 12(3), 210–225.

Kim SY, Kim EJ. Effects of virtual reality-based balance training on postural control and functional performance. J Phys Ther Sci,2021; 33(5), : 401–406.

Kritz M, Cronin J. Static posture assessment screen of athletes: Benefits and considerations. J Strength Cond Res, 2008; 30(5) : 18–27.

LaViola JJ. A discussion of cybersickness in virtual environments. ACM SIGCHI Bulletin, 2000; 32(1) : 47–56.

Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. Am J Sports Med, 1998; 26(1) : 130–137.

Lesinski M, Prieske O, Granacher U. Effects of balance training on strength, power, speed and jump performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. Sports Medicine, 2015; 45(6) : 843–865.

Lopes AJ, da Silva DP, Kasuki L, Gadelha MR, Camilo GB, Guimaraes FS. Posture and balance control in patients with acromegaly. Gait Posture, 2014; 40(1) : 154–159.

Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. Brain Res Rev, 2011; 67(1–2) : 119–146.

Maurer C, Mergner T, Bolha B, Hlavacka F. Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. Neuroscience Letters, 2006; 398(3) : 215–219.

Menzies RG, Clarke JC. The etiology of phobias: A nonassociative account. Clin Psychol Rev, 1993; 13(6) : 537–559.

Menzies RG, Harris LM, Oppenheimer JE. Virtual reality exposure for acrophobia: A randomized controlled trial. Behav Res Therapy, 2020; 134: 103718.

Nashner, J. M., ve McCollum, G. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. BBS, 1985; 8(1), : 135–172.

Nicholas JA, Sapega AA, Kraus H, Webb JN. Factors influencing balance in athletes. Am J Sports Med, 1995; 23(2) : 150–155.

Novak D, Sinković F, Bilić Z, Barbaros P. The effects of a short virtual reality training program on dynamic balance in tennis players. J Funct Morphol Kinesiol, 2023; 8(4) : 168.

Nudo RJ. Recovery after brain injury: Mechanisms and principles. Front Hum Neurosci, 2013; 7 : 887.

Oie KS, Kiemel T, Jeka JJ. Multisensory fusion: Simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. Exp Brain Res, 2002; 143(1) : 1–10.

Okubo J, Watanabe I, Takeya T, Baron JB. Influence of foot position and visual field condition on equilibrium and body sway. Agressologie, 1979; 20(2) : 127–132**.**

Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: A review. Neurosci Biobehav Rev, 2012; 36(1) : 162–176.

Paillard T. Plasticity of the proprioceptive system: From neurophysiological mechanisms to rehabilitation techniques. Neurophysiologie Clinique, 2017; 47(2) : 65–76.

Paillard T, Noé F. Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. J Sports Sci, 2006; 24(10) : 1083–1091.

Palmisano S, Mursic R, Kim J. Vection and cybersickness caused by head-mounted display virtual reality. J Neurophysiol, 2020; 123(2) : 604–622.

Penfield W, Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. 1937; 60(4) p: 389–443.

Pereira HM, de Campos TF, Santos MB, Cardoso JR, Garcia MC. Influence of knee position on the postural stability index registered by the Biodex Balance System. Gait Posture, 2008; 28(4) : 668–672.

Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol, 2002; 88(3) : 1097–1118.

Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol, 2004; 91(1) : 410–423.

Pojskic H, Åslin E, Krolo A, Jukic I, Uljevic O, Spasic M, Sekulic D. Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests. Front physiol, 2018; 9 : 506.

Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. IEEE Trans Biomed Eng, 1996;43(9), : 956–966.

Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. Physiological Reviews, 2012; 92(4) : 1651–1697.

Riecke BE, Schulte-Pelkum J. Perceptual and cognitive factors for self-motion perception in virtual reality. In Human walking in virtual environments 2013 p: 27–54.

Rupp T, Büchele F. Effects of acute hypobaric hypoxia on postural control. Eur J Appl Physiol, 2015; 115(6) : 1201–1209.

Scoppa F, Capra R, Gallamini M, Shiffer R. Clinical stabilometry standardization: Basic definitions–Acquisition interval–Sampling frequency. Gait Posture, 2013; 37(2) : 290–292.

Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: Translating research into clinical practice. Lippincott Williams and Wilkins. 2007 p: 22-79

Simeonov PI, Hsiao H, Dotson BW, Ammons DE, Kau TY. Postural stability while viewing a virtual environment simulating height exposure. Applied Ergonomics, 2005; 36(2) : 181–188.

Skre I, Onstad S, Torgersen S, Lygren S. The heritability of fear and anxiety related disorders in a general population: A twin study. J Anxiety Disord, 2000; 14(6) : 557–565.

Slobounov S, Slobounova E, Newell K. Virtual reality technology and postural control. Neurosci Lett, 2015; 592 : 1–5.

So RHY, Ho ATK, Lo WT. A metric to quantify virtual reality sickness. Displays, 2009; 59 p: 1–8.

Steinman SA, Marks IM. Cognitive behaviour therapy for phobic and anxiety disorders. Behav Res Therapy, 1981; 19(5) : 439–452.

Sterr A, Green L. Neural mechanisms of depth perception and motion processing. Vision Research, 2021; 184 : 34–45.

Ungerleider LG, Haxby JV. “What” and “where” in the human brain. Trends in Neurosciences, 1994; 17(5): : 233–239.

Vogt G. Sanal gerçeklik ile maruz bırakmanın akrofobi tedavisinde kullanımı (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir). 2021; p: 33–35.

Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. Frontiers in Psychology, 2019; 10 : 158.

West JB. High-altitude medicine. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2012; 186(12) : 1229–1237.