

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI

**YAŞLILARDA DERİNLİK SENSÖRLERİYLE
YAPILAN FUKUDA ADIMLAMA TESTİ'NİN;
TEST-TEKRAR TEST GÜVENİRLİĞİ VE KLİNİK
DEĞERLENDİRMELERLE İLİŞKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Hasan Tolga ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2025-ANTALYA

Hasan Tolga ÜNAL

YÜKSEK LİSANS

2025-ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI

**YAŞLILARDA DERİNLİK SENSÖRLERİYLE
YAPILAN FUKUDA ADIMLAMA TESTİ’NİN;
TEST-TEKRAR TEST GÜVENİRLİĞİ VE KLİNİK
DEĞERLENDİRMELERLE İLİŞKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Hasan Tolga ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mert DOĞAN

“Kaynakça gösterilerek tezimden yararlanılabilir”

2025-ANTALYA

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı Yüksek Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2026

İmza

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mert DOĞAN
Akdeniz Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Özgün KAYA KARA
Akdeniz Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Sebahat Yaprak ÇETİN
Akdeniz Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Muhammed KILINÇ
Hacettepe Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Ender AYVAT
Hacettepe Üniversitesi

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

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

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

Hasan Tolga ÜNAL

İmza

Tez Danışmanı

Mert DOĞAN

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm süreçlerinde bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren, geleneksel düşüncelerimi modernleştiren, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mert DOĞAN' a,

Yüksek lisans eğitimimin bir yılı boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. S. Yaprak ÇETİN' e,

Tezimin çalışmamı tamamlayabilmem için desteğini esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Doç. Dr. Özgün KAYA KARA' ya,

Tezimizin teknik destek ve veri toplama süreçlerinde verdiği değerli bilgiler ve desteği için İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Bölümü Öğretim Elemanı Sayın Arş. Gör. Mertcan KOÇAK' a,

Yüksek lisansa başlamama vesile olan ve tezimi tamamlayabilmem için büyük emek veren, önümü göremediğim zamanlarda bana ışık olan en büyük destekçim ve meslektaşım sevgili eşim Büşra ÖZKARA ÜNAL' a,

En büyük güç ve motivasyon kaynağım, annesinin karnındayken bile tezimde hep yanımda olan biricik kızım Masal Lina ÜNAL' a,

Tezimin veri toplama aşamasında bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Kadir ÜNAL, Hatice Merve ÜNAL, Zehra GÖKÇEN ve Murat ÖZKARA' ya,

Eğitim hayatım boyunca hep arkamda olduklarını bildiğim, her zaman bana güvenen, desteklerini esirgemeyen ve beni motive eden babam İsmail ÜNAL ve annem Ayşe ÜNAL' a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, yaşlı bireylerde derinlik sensörleri kullanılarak yapılan Fukuda Adımlama Testi'nin test-tekrar test güvenilirliğini ve klinik değerlendirmelerle ilişkisini incelemektir.

Yöntem: Çalışmaya 65–80 yaş aralığında 86 yaşlı birey dahil edildi. Postüral kontrol ve dinamik denge performansı, Microsoft Kinect v2 derinlik sensörü kullanılarak modernize edilmiş Fukuda Adımlama Testi ile değerlendirildi. Katılımcıların denge, fonksiyonel durum, kuvvet, kırılabilirlik, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesi; Frail Kırılabilirlik Ölçeği, Berg Denge Ölçeği, 360° Dönme Testi, Zamanlı Kalk Yürü Testi, Jamar El Dinamometresi ile kavrama kuvvetinin ölçümü, 5 Defa Otur-Kalk Testi, Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi-Kısa Form (IPAQ-SF), Dünya Sağlık Örgütü Yaşlılar İçin Yaşam Kalitesi Ölçeği (WHOQOL-OLD), Montreal Bilişsel Değerlendirme (MoCA) ve Düşme Etkinliği Ölçeği-Uluslararası (FES-I) ile belirlendi. Test-tekrar test güvenilirliği 23 katılımcıda incelendi ve sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ile değerlendirildi. Fukuda Adımlama Testi parametreleri ile klinik ölçümler arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon analizi ile incelendi ($p<0.05$).

Bulgular: Test-tekrar test analizleri sonucunda, test süresi, anterior-posterior yer değiştirme, total planar yer değiştirme, baş lateral fleksiyon değişimi ve başın anterior-posterior yer değiştirmesi parametrelerinde orta düzeyde güvenilirlik saptandı ($ICC=0.58-0.68$). Korelasyon analizlerinde, test süresi ve yer değiştirme temelli parametrelerin Zamanlı Kalk Yürü Testi, Berg Denge Ölçeği ve düşme korkusu ile düşük düzeyde ancak istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler gösterdiği belirlendi. Baş kinematik parametrelerinin bilişsel durum ve fiziksel aktivite düzeyi ile; yaşam kalitesinin duyuşal işlevler ile sosyal katılım alt boyutlarıyla istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler gösterdiği saptandı ($p<0.05$).

Sonuç: Bu çalışma, Microsoft Kinect v2 derinlik sensörü kullanılarak modernize edilen Fukuda Adımlama Testi'nin yaşlı bireylerde postüral kontrol ve dinamik denge performansının değerlendirilmesinde orta düzeyde güvenilir olduğunu ve klinik denge ölçümleri, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesinin duyuşal işlevler ve sosyal katılım alt boyutları ile anlamlı ilişkiler gösterdi. Elde edilen bulgular, testin yaşlı popülasyonda tek başına tanısal bir araç olmaktan çok, klinik değerlendirmeleri tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: yaşlı, kinect, fukuda adımlama testi, denge, postüral kontrol

ABSTRACT

Aim: This study aimed to determine the test–retest reliability of the depth sensor–based Fukuda Stepping Test and its associations with clinical measures in older adults.

Methods: A total of 86 older adults aged between 65 and 80 years were included in the study. Postural control and dynamic balance performance were evaluated using a modernized Fukuda Stepping Test performed with a Microsoft Kinect v2 depth sensor. Participants' balance, functional status, muscle strength, frailty, cognitive status, physical activity level, and quality of life were assessed using the Frail Scale, Berg Balance Scale, 360° Turn Test, Timed Up and Go Test, measurement of handgrip strength with a Jamar dynamometer, Five Times Sit-to-Stand Test, International Physical Activity Questionnaire–Short Form (IPAQ-SF), World Health Organization Quality of Life Scale for Older Adults (WHOQOL-OLD), Montreal Cognitive Assessment (MoCA), and Falls Efficacy Scale–International (FES-I). Test–retest reliability was examined in 23 participants and evaluated using the intraclass correlation coefficient (ICC). The relationships between Fukuda Stepping Test parameters and clinical measurements were analyzed using Spearman's rank correlation analysis ($p < 0.05$).

Results: According to the test–retest analyses, moderate reliability was observed for test duration, anterior–posterior displacement, total planar displacement, head lateral flexion change, and head anterior–posterior displacement parameters ($ICC = 0.58–0.68$). Correlation analyses indicated that time- and displacement-based parameters showed low but statistically significant associations with the Timed Up and Go Test, Berg Balance Scale, and fear of falling. Head kinematic parameters demonstrated statistically significant relationships with cognitive status and physical activity level, while quality of life showed statistically significant associations with the sensory functioning and social participation subdomains ($p < 0.05$).

Conclusion: The depth sensor–based Fukuda Stepping Test showed moderate reliability and meaningful associations with balance, cognition, physical activity, and quality of life, indicating its value as a complementary clinical assessment tool for older adults.

Keywords: older adults, kinect, fukuda stepping test, balance, postural control

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Yaşlanma ve Fizyolojik Değişiklikler.....	4
2.1.1. Yaşlanmanın Tanımı ve Sınıflandırılması.....	4
2.1.2. Yaşlanma Epidemiyolojisi ve Demografik Veriler	4
2.1.3. Yaşlanmayla Birlikte Meydana Gelen Sistemik Değişiklikler.....	5
2.1.4. Sağlıklı Yaşlanma ve Kırılganlık Süreci	7
2.2. Yaşlılıkta Denge ve Postüral Kontrol.....	8
2.2.1. Dengenin Nörofizyolojisi	8
2.2.2. Postüral Kontrol Stratejileri.....	12
2.3. Yaşlılıkta Denge ve Postüral Kontrol ile İlişkili Temel Problemler	13
2.3.1. Fizyolojik ve Biyomekanik Bozukluklar.....	14
2.3.2. Yürüme ve Fonksiyonel Sonuçlar	15
2.3.3. Travmatik ve Psikososyal Etkiler	17
2.4. Yaşlılıkta Postüral Kontrol, Denge ve Vestibüler Fonksiyonların Değerlendirilmesi	18
2.4.1. Klinik Değerlendirmeler.....	18
2.4.2. Vestibüler Değerlendirme Yöntemleri	19

2.4.3. Fukuda Adımlama Testi	20
2.5. Rehabilitasyonda Hareket Analizi Sistemleri	21
2.5.1. Optoelektronik Sistemler	21
2.5.2. Ataletsel Ölçüm Birimleri (IMU Sistemleri)	22
2.5.3. Markerless Sistemler	22
2.5.4. RGB Kameralar	22
2.6. Microsoft Kinect Teknolojisi	22
2.6.1. Donanım Özellikleri ve Derinlik Algılama Prensipleri	22
2.6.2. Kinect Yazılım Geliştirme Kiti (SDK) ve İskelet Takibi	23
2.6.3. Kinematik Veri Toplama Potansiyeli	23
2.6.4. Rehabilitasyonda Microsoft Kinect'in Kullanımı	24
3. GEREÇ ve YÖNTEM	25
3.1. Araştırma Tasarımı	25
3.2. Araştırma Etiği	25
3.3. Bireyler	25
3.3.1. Dahil Edilme Kriterleri	26
3.3.2. Dahil Edilmeme Kriterleri	26
3.4. Yöntem	26
3.4.1. Kinect ile Modernize Edilmiş Fukuda Adımlama Testi	26
3.5. Değerlendirme Parametreleri	30
3.5.1. Demografik ve Sağlıkla İlişkili Bilgiler	30
3.5.2. Frail Kırılganlık Ölçeği	30
3.5.3. Berg Denge Ölçeği (BDÖ)	30
3.5.4. 360° Dönme Testi	32

3.5.5. Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT).....	32
3.5.6. Kavrama Kuvvetinin Değerlendirilmesi.....	33
3.5.7. 5 Defa Otur-Kalk Testi	34
3.5.8. Fiziksel Aktivite Düzeyinin Değerlendirilmesi (IPAQ-SF)	35
3.5.9. Yaşam Kalitesinin Değerlendirilmesi (WHOQOL-OLD).....	35
3.5.10. Bilişsel Fonksiyonun Değerlendirilmesi (MoCA).....	36
3.5.11. Düşme Etkinliği Ölçeği Uluslararası (FES-I).....	36
3.6. İstatistiksel Analiz	36
3.6.1. Verilerin Analizi	36
3.6.2. Güvenirlik Analizi	36
4. BULGULAR	38
4.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri	38
4.2. Kinect ile Modernize Edilmiş Fukuda Adımlama Testi Metriklerinin Tanımlayıcı İstatistikleri	39
4.3 Kinect ile modernize edilmiş Fukuda Adımlama Testi'ne ait test–tekrar test güvenirliği sonuçları.....	40
4.4 Bland–Altman Yer Değiştirme Metriklerinin Yorumu	42
4.5 Klinik değerlendirme testlerine ait tanımlayıcı istatistikler	44
4.6. Kinect ile modernize edilen Fukuda Adımlama Testi parametreleri ile klinik değerlendirme testleri arasındaki ilişkiler	45
5. TARTIŞMA	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKÇA	70
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	80

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 4.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri	39
Tablo 4.2. Kinect ile modernize edilmiş FAT metriklerinin tanımlayıcı istatistikleri	40
Tablo 4.3. Kinect ile modernize edilmiş FAT test-tekrar test güvenilirliğinin sonuçları..	41
Tablo 4.4. Klinik değerlendirmelere ait tanımlayıcı istatistikler.....	45
Tablo 4.5. Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile klinik değerlendirme testleri arasındaki ilişkiler	46
Tablo 4.6. Katılımcıların kas kuvveti, fonksiyonel performans, kırılabilirlik ve bilişsel duruma ilişkin tanımlayıcı istatistikleri.....	47
Tablo 4.7. Kinect ile modernize edilmiş FAT parametreleri ile kas kuvveti, fonksiyonel performans, bilişsel durum ve kırılabilirlik arasındaki ilişkiler....	48
Tablo 4.8. Katılımcıların fiziksel aktivite düzeylerine (IPAQ) ait tanımlayıcı istatistikler	49
Tablo 4.9. Kinect modernize edilen FAT parametreleri ile fiziksel aktivite düzeyi arasındaki ilişkiler	50
Tablo 4.10. Katılımcıların yaşam kalitesi (WHOQOL-OLD) alt boyutlarına ait tanımlayıcı istatistikler	51
Tablo 4.11. Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile yaşam kalitesi (WHOQOL-OLD) alt boyutları arasındaki ilişkiler.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kinect v2 Cihazı	23
Şekil 2.2. Kinect'in sensörünün izlediği noktalar	23
Şekil 3.1. Kinect cihazının konumlandırılması ve bilgisayardaki görüntüsü	27
Şekil 3.2. Berg Denge Ölçeği ile statik denge performansının değerlendirilmesi.....	31
Şekil 3.3. Berg Denge Ölçeği ile dinamik denge performansının değerlendirilmesi	31
Şekil 3.4. 360 Derece Dönme Testi ile postüral kontrol ve fonksiyonel mobilite düzeyinin değerlendirilmesi	32
Şekil 3.5. Zamanlı Kalk Yürü Testi ile denge ve mobilitenin değerlendirilmesi	33
Şekil 3.6. JAMAR El Dinamometresi ile kavrama kuvvetinin ölçülmesi	34
Şekil 3.7. 5 Defa Otur Kalk Testi ile alt ekstremitte kuvvetinin değerlendirilmesi.....	35
Şekil 4.1. Çalışmanın akış diyagramı	38
Şekil 4.2. Kinect ile modernize edilen FAT'da gövde ve baş yer değiştirme metriklerine (AP, ML, SI ve total planar) ilişkin test–tekrar test Bland– Altman grafikleri.	42
Şekil 4.3. Kinect ile modernize edilen FAT'da gövde açısal değişimlerine (tam gövde rotasyonu, üst gövde rotasyonu, fleksiyon ve lateral fleksiyon) ilişkin test– tekrar test Bland–Altman grafikleri.	43
Şekil 4.4. Kinect ile modernize edilen FAT'da baş açısal değişimlerine (fleksiyon, lateral fleksiyon ve aksiyel rotasyon) ilişkin test–tekrar test Bland–Altman grafikleri.	44

SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltma	Açıklama
AP	Anterior–Posterior: Öne–arkaya doğrultuda yer değiştirme
AUT	Autonomy: WHOQOL-OLD özerklik alt boyutu
BA	Bland–Altman: Ölçümler arası uyumu değerlendiren istatistiksel yöntem
BDÖ	Berg Denge Ölçeği (Berg Balance Scale)
BPPV	Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo
cm	Santimetre: Uzamsal yer değiştirme birimi
DAD	Death and Dying: WHOQOL-OLD ölüm ve ölmek alt boyutu
deg	Degree (Derece): Açısal ölçüm birimi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
FES-I	Falls Efficacy Scale – International: Düşme korkusunu değerlendiren ölçek
FOF	Fear of Falling: Düşme korkusu
FAT	Fukuda Stepping Test (Fukuda Adımlama Testi)
Hz	Hertz: Örneklem frekansı birimi
HIT	Head Impulse Test: Vestibülo-oküler refleksi değerlendiren klinik test
ICC	Intraclass Correlation Coefficient: Sınıf içi korelasyon katsayısı
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health: Uluslararası İşlevsellik, Yetiyitimi ve Sağlık Sınıflandırması
IMU	Inertial Measurement Unit: Ataletsel ölçüm birimi
INT	Intimacy: WHOQOL-OLD yakınlık alt boyutu
IPAQ-SF	International Physical Activity Questionnaire – Short Form: Fiziksel aktivite düzeyi değerlendirme anketi
LOS	Limits of Stability: Denge limitleri
ML	Medio–Lateral: Sağ–sol doğrultuda yer değiştirme
MoCA	Montreal Cognitive Assessment: Bilişsel değerlendirme testi

Kısaltma	Açıklama
Pitch	Başın sagittal düzlemde öne–arkaya açısal hareketi
PPF	Past, Present and Future Activities: WHOQOL-OLD geçmiş–şimdi–gelecek aktiviteleri alt boyutu
RGB	Red–Green–Blue: Renk tabanlı kamera sistemi
Roll	Başın frontal düzlemde sağ–sol eğim hareketi
SAB	Sensory Abilities: WHOQOL-OLD duyuşal işlevler alt boyutu
SDK	Software Development Kit: Yazılım geliştirme kiti
SI	Superior–Inferior: Yukarı–aşağı doğrultuda yer değiştirme
SOP	Social Participation: WHOQOL-OLD sosyal katılım alt boyutu
SS (SD)	Standart Sapma (Standard Deviation)
TUG	Timed Up and Go Test: Zamanlı Kalk ve Yürü Testi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
vHIT	Video Head Impulse Test: Video destekli baş impuls testi
VOR	Vestibulo–Ocular Reflex: Vestibülo-oküler refleks
WHOQOL-OLD	World Health Organization Quality of Life – Older Adults Module: Yaşlı bireyler için yaşam kalitesi ölçeği
Yaw	Başın transvers düzlemde aksiyel rotasyon hareketi
ZKYT	Zamanlı Kalk ve Yürü Testi

1. GİRİŞ

Son yıllarda küresel ölçekte yaşlı nüfus oranındaki artış, toplum sağlığı açısından önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) verileri, 65 yaş ve üzeri nüfus oranının 2050 yılına kadar iki katına çıkarak dünya nüfusunun yaklaşık beşte birini oluşturacağını bildirmektedir (Birleşmiş Milletler, 2023). Türkiye’de de benzer bir demografik değişim söz konusu olup, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) raporları yaşlı nüfus oranının son yirmi yılda hızla arttığını ve ülkemizin yakın gelecekte “çok yaşlı nüfus yapısı” kategorisine gireceğini göstermektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024).

Yaşlanma ile birlikte düşme sıklığı, denge bozuklukları, kırılgnalık ve fonksiyonel kapasitede azalma daha belirgin olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yaşlı bireylerin üçte birinden fazlasının yılda en az bir kez düştüğünü ve düşmelerin yaşlılarda morbidite ile mortalitenin başlıca nedenlerinden biri olduğunu vurgulamaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2022). Literatür, düşme riskinin özellikle 80 yaş üzeri bireylerde dramatik biçimde arttığını ve düşmelerin bağımsızlık kaybı, yaralanmalar ve sağlık hizmeti kullanımında ciddi artışlara yol açtığını göstermektedir (Tinetti, 2003; Rubenstein, 2006).

Dünya Sağlık Örgütü’nün Uluslararası İşlevsellik, Yeti yitimi ve Sağlık Sınıflandırması (ICF) çerçevesine göre yaşlılık, yalnızca hastalık varlığı ya da organ düzeyindeki bozukluklar ile değil; vücut yapı ve fonksiyonları, aktivite kapasitesi ve toplumsal katılım düzeyleri arasındaki etkileşim ile değerlendirilmektedir (Dünya Sağlık Örgütü, 2001). Bu modele göre denge, postüral kontrol ve mobilite gibi vücut fonksiyonlarındaki değişimler, bireyin günlük yaşam aktivitelerini sürdürme kapasitesini ve çevresel faktörlerle etkileşimini doğrudan etkilemektedir. Yaşlanma sürecinde ortaya çıkan denge bozuklukları ve artan düşme riski, yalnızca fiziksel performans kaybı ile sınırlı kalmayıp bireyin bağımsızlığı, sosyal katılımı ve yaşam kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, yaşlanmaya bağlı fizyolojik ve fonksiyonel değişikliklerin objektif yöntemlerle değerlendirilmesi, düşme riskinin belirlenmesi ve koruyucu stratejilerin geliştirilmesi, kritik önem taşımaktadır. Geleneksel klinik denge testleri yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu testlerin gözlemsel niteliği ve ölçüm duyarlılığı sınırlıdır. Bundan dolayı teknoloji destekli değerlendirme yöntemlerine ilgi

giderek artmaktadır. Son yıllarda derinlik sensörleri gibi temassız hareket analizi sağlayan sistemler, yaşlı bireylerde postüral kontrol ve denge performansının objektif, hızlı ve düşük maliyetli biçimde değerlendirilebilmesi açısından önemli bir alternatif olarak öne çıkmıştır.

Bu çalışmanın amacı, 65 ile 80 yaş arasındaki bireylerde derinlik sensörü (Microsoft Kinect V2) ile modernize edilen Fukuda Adımlama Testi'nin test-tekrar test güvenilirliğini incelemek ve elde edilen sensör temelli dinamik denge parametrelerinin klinik ölçümlerle olan ilişkisini değerlendirmektir.

Fukuda Adımlama Testi (FAT), katılımcıların gözleri kapalı ve yerinde adımlama sırasında vestibüler fonksiyonlarını ve dinamik denge performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan basit ve hızlı uygulanabilen bir testtir. Ancak geleneksel FAT, ölçümlerin çoğunlukla gözlem ve manuel hesaplamaya dayanması nedeniyle hassas ölçüm ve sayısal veri sağlama kapasitesi sınırlıdır, ayrıca hastalığın şiddetini ve progresyonunu objektif olarak değerlendirme olanağı sunmaz. Bu sınırlılıklar, testin modernizasyonunu gerektirmektedir.

Çalışmamızda FAT, Kinect sensörü ve C# ile geliştirilen yazılım kullanılarak modernize edilmiştir. Bu modernizasyon sayesinde, katılımcıların rotasyon, yer değiştirme ve gövde/baş segment hareketleri gibi parametreleri hassas, objektif ve sayısal olarak ölçmek mümkün hale gelmiştir. Özellikle, Kinect ile modernize edilen FAT, küçük denge bozuklukları ve ince değişimlerin tespitinde geleneksel testlere göre daha yüksek hassasiyet ve duyarlılık sağlamaktadır. Bu özellik, testin rehabilitasyon sürecinde potansiyel olarak hastaların ilerleme veya değişimlerini izleme açısından klinik kullanım değerini artırmaktadır. Böylece test, klinik ortamda hastaların denge bozukluklarının daha detaylı ve güvenilir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca; teknolojik entegrasyon, ölçümlerin otomatik kaydedilmesi ve analiz edilmesi ile zaman tasarrufu, insan hatasının azaltılması ve klinik karar süreçlerine doğrudan katkı gibi avantajlar sunmaktadır. Bu doğrultuda çalışma, Kinect tabanlı objektif denge ölçümlerinin yaşlı bireylerde kullanılabilirliğini ortaya koymayı, klinik pratikte gözlemsel yöntemlere alternatif oluşturabilecek teknoloji destekli bir değerlendirme yaklaşımı geliştirmeyi ve

yaşlılıkta dinamik denge, kırılgnalık ve yaşam kalitesi arasındaki etkileşimi bütüncül biçimde incelemeyi hedeflemektedir.

H0a.Modernize edilen Fukuda testi sonuçları ile klinik denge ölçümleri arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H1a.Modernize edilen Fukuda adımlama testi sonuçları ile klinik denge ölçümleri arasında anlamlı bir ilişki vardır.

H0b. Modernize edilen Fukuda adımlama testi sonuçları; yaşlı bireylerin kavrama kuvveti, kırılgnalık düzeyleri, bilişsel fonksiyonları ve fiziksel aktivite seviyeleriyle anlamlı bir ilişkili göstermemektedir.

H1b.Modernize edilen Fukuda adımlama testi sonuçları; yaşlı bireylerin kavrama kuvveti, kırılgnalık düzeyleri, bilişsel fonksiyonları ve fiziksel aktivite seviyeleriyle anlamlı bir ilişkili göstermektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yaşlanma ve Fizyolojik Değişiklikler

2.1.1. Yaşlanmanın Tanımı ve Sınıflandırılması

Yaşlanma, biyolojik organizmaların zaman içerisinde maruz kaldığı yapısal, işlevsel ve biyokimyasal değişikliklerin bir araya gelmesiyle oluşan çok boyutlu bir süreçtir. Bu süreç yalnızca hücresel düzeydeki dejeneratif değişimlerle sınırlı olmayıp aynı zamanda nörolojik, motor ve kognitif fonksiyonların bütüncül olarak etkilenmesiyle karakterizedir (Xia ve ark., 2016). Bu çok boyutlu yapının ortaya çıkmasında genetik yatkınlıkların yanı sıra çevresel etmenler ve yaşam tarzına ilişkin faktörlerin önemli rol oynadığı bilinmektedir (Kirkwood, 2005).

Yaşlanmanın sınıflandırılmasında literatürde dört temel yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Kronolojik yaşlanma, bireyin takvim yaşını ifade eder ve yaşlılık genellikle 65 yaş ve üzeri olarak tanımlanır; bu kapsamda yaşlılık sıklıkla 65–74 yaş (genç yaşlı), 75–84 yaş (orta yaşlı) ve 85 yaş ve üzeri (ileri yaşlı) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2023). Biyolojik yaşlanma, organ ve dokuların yapısal ve fonksiyonel kapasitesindeki azalmayı; fonksiyonel yaşlanma, bireyin günlük yaşam aktivitelerini bağımsız olarak sürdürebilme düzeyini; sosyal yaşlanma ise bireyin toplumsal rollerinde, sorumluluklarında ve sosyal etkileşimlerinde meydana gelen değişimleri yansıtır. Bu sınıflamalar, yaşlı bireyler arasındaki performans farklılıklarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakta ve klinik değerlendirmelerde biyolojik ve fonksiyonel yaşın kronolojik yaştan daha açıklayıcı olabileceği bildirilmektedir (Birleşmiş Milletler, 2023).

2.1.2. Yaşlanma Epidemiyolojisi ve Demografik Veriler

Küresel demografik yapı son yarım yüzyılda önemli bir değişim geçirmiş ve yaşlı nüfus oranı tüm dünyada hızla artmıştır. Birleşmiş Milletlerin *World Social Report 2023* verilerine göre, 2021 yılında dünya nüfusunun %9,4'ünü 65 yaş ve üzeri bireyler oluşturmuş olup bu oranın 2050'de %16,7'ye ulaşacağı öngörülmektedir (Birleşmiş Milletler, 2023). Bu artış eğilimi yalnızca gelişmiş ülkelerle sınırlı değildir; düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşlanma hızı daha belirgin bir artış göstermektedir. Türkiye'de yaşlı

nüfus artışı küresel eğilimlerle paralellik göstermektedir. TÜİK verilerine göre, 65 yaş ve üzeri nüfus oranı 2000 yılında %5,7 iken 2023 yılında %10,2'ye yükselmiş ve 2024 yılında %10,6'ya ulaşmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2023). Nüfus projeksiyonları, 2030'da bu oranın %13,5'e ve 2040'ta %18,2'ye çıkacağını ve Türkiye'nin demografik olarak hızlı yaşlanan ülkeler arasında yer aldığını ortaya göstermektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024).

Yaşlı nüfusun artışıyla birlikte düşme insidansında, denge bozukluklarında ve fonksiyonel bağımlılık riskinde de belirgin bir yükseliş görülmektedir. Heinrich ve arkadaşları, düşmelerin yaşlı bireylerde yaralanmaya bağlı morbidite ve mortalitenin başlıca nedenlerinden biri olduğunu; ayrıca yıllık sağlık harcamalarına 50 milyar doların üzerinde ek yük getirdiğini bildirmiştir (Heinrich ve ark., 2010). DSÖ 2022 verileri, yaşlı bireylerin %30–50'sinin yılda en az bir kez düşme yaşadığını göstermektedir (Dünya Sağlık Örgütü, 2022). Tinetti ve arkadaşları, özellikle 80 yaş üstü bireylerde düşme oranının %50'nin üzerine çıktığını belirtmiştir (Tinetti, 2003).

Yaşlanmanın sosyal, ekonomik ve sağlıkla ilişkili etkileri geniş kapsamlıdır. Bloom ve arkadaşları, yaşlanmanın sağlık harcamalarını, bakım ihtiyacını, iş gücü kayıplarını ve sosyal güvenlik maliyetlerini artırarak toplumların ekonomik yükünü belirgin biçimde yükselttiğini vurgulamıştır (Bloom ve ark., 2015). Bu veriler yaşlanmanın yalnızca biyolojik bir süreç olmadığını; nüfus yapısı, sağlık sistemi planlaması ve toplum sağlığı açısından çok boyutlu sonuçları olan bir dönüşüm olduğunu göstermektedir.

2.1.3. Yaşlanmayla Birlikte Meydana Gelen Sistemik Değişiklikler

2.1.3.1. Nöromüsküler Sistem

Yaşlanmanın en belirgin fizyolojik etkilerinden biri nöromüsküler sistemde meydana gelen ilerleyici yapısal ve fonksiyonel değişikliklerdir. Bu değişimlerin en önemlisi, kas kütlesi ve kas gücünde görülen kayıplarla karakterize edilen sarkopenidir. Sarkopeni, Avrupa Çalışma Grubu tarafından “iskelet kası kütlesi ve kas fonksiyonunda yaşla ilişkili azalma” olarak tanımlanmaktadır (Cruz-Jentoft Alfonso J. ve ark., 2019a). Tip II motor ünitelerdeki belirgin kayıp, sinir iletim hızındaki yavaşlama, kas liflerinde atrofi ve kas içi yağlanma sarkopeninin temel biyolojik mekanizmalarıdır (van Loon ve ark., 2006; Hunter ve ark., 2016). Sarkopenik bireylerde, kas kütlesi yaklaşık 50 yaşından itibaren her

yıl %1–2 oranında azalırken, kas gücü kaybı bu oranın iki katına çıkarak %2–3 düzeyine ulaşmaktadır (Abizanda ve ark., 2012). Kas gücündeki azalmanın kas kütlesindeki azalmadan daha belirgin olması, yaşlanmanın nöromüsküler işlev üzerindeki etkilerinin yalnızca yapısal değil, aynı zamanda fonksiyonel olduğunu göstermektedir (Clark D. J. ve ark., 2012a). Bu değişimler postüral düzeltme hızının yavaşlaması, adım yüksekliğinin azalması, koruyucu adım stratejisinin gecikmesi ve alt ekstremitte fonksiyonlarının zayıflaması gibi sonuçlar doğurarak düşme riskini artırmaktadır (Moreland ve ark., 2004; Homem ve ark., 2017). Ayrıca DSÖ, sarkopeniyi yaşlılık döneminde düşme, kırılabilirlik ve fonksiyonel bağımlılığın önemli belirleyicilerinden biri olarak göstermektedir; ayrıca Avrupa Sarkopeni Çalışma Grubu'nun 2019 güncellemesine göre, kas kuvvetinin azalması sarkopeninin temel göstergesi olarak kabul edilmekte ve klinik değerlendirmelerde primer belirteç olarak kullanılmaktadır (Cruz-Jentoft Alfonso J. ve ark., 2019a; Dünya Sağlık Örgütü, 2021).

2.1.3.2. Duyu-Algı Sistemleri

Yaşlanma süreci, vizüel, somatosensöriyel ve vestibüler sistem olmak üzere üç ana duyuşal sistem üzerinde belirgin fonksiyon kayıplarına yol açmaktadır. Bu sistemlerden gelen girdilerin kalitesindeki azalma, yaşlı bireylerde postüral stabiliteyi olumsuz etkilemekte ve düşme riskini artırmaktadır. Bu sistemlerdeki bozulmaların eş zamanlı olarak ortaya çıkması, duyuşal girdilerin işleme süreçlerini daha belirgin şekilde zayıflatmaktadır (Xing ve ark., 2023). Duyuşal sistemlerdeki gerilemeler, yaşlanma sürecinde genellikle birlikte ortaya çıkarak çevresel uyaranların algılanmasını ve işlenmesini güçleştirmektedir. Güncel araştırmalar bu çoklu duyuşal kayıpların, yaşlı bireylerin çevreye uyum ve hareket planlama kapasitesini belirgin biçimde azalttığını göstermektedir (Agrawal ve ark., 2020; Völter ve ark., 2021).

2.1.3.3. Bilişsel Fonksiyonlar

Yaşlanma bilişsel işlevlerde, özellikle işleme hızı ve yürütücü işlevlerde belirgin gerilemeye yol açmaktadır. İşleme hızındaki yavaşlama çevresel değişikliklere verilen motor yanıtı geciktirirken; yürütücü işlevlerdeki bozulma dikkat kontrolü, planlama ve motor görevlerin koordine edilmesini zorlaştırmaktadır (Phillips ve ark., 2021; Holtzer ve ark., 2022). Bununla birlikte epizodik hafızadaki azalmanın mekânsal farkındalık ve yön

bulma süreçlerinde zorluklara yol açtığı gösterilmiştir (Fang ve ark., 2024). Pereira ve ark. yaptıkları çalışmada bilişsel performansın yürüme hızı, denge ve yön değiştirme becerisiyle yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir (Pereira ve ark., 2025). Ayrıca nörogörüntüleme çalışmaları, yaşlanmanın prefrontal kortekste daha fazla iş yükü oluşturduğunu ve duyuşsal bilgilerin motor sistemle eşgüdömlü işlenmesini yavaşlattığını göstermektedir. Bu durum, yaşlı bireylerde postöral kontrol ve yürüme stabilitesindeki bozulmaların açıklayıcı mekanizmalarından biri olarak değeriendirilmektedir (Harada ve ark., 2009).

2.1.4. Sağlıklı Yaşlanma ve Kırılğanlık Süreci

Dünya Sağlık Örgütü, sağlıklı yaşlanmayı “ileri yaşta iyi olma hâlini destekleyen işlevsel yetilerin geliştirilmesi ve sürdürölmesi süreci” olarak tanımlamaktadır. Bu yetiler; bireyin günlük aktivitelerini sürdürebilmesi, karar verebilmesi, öğrenmesi, hareket edebilmesi ve sosyal katılımını devam ettirebilmesini kapsamaktadır. Bu bağlamda DSÖ’nün vurguladığı içsel kapasite kavramı; fiziksel, bilişsel, duyuşsal, metabolik ve psikolojik alanlardaki yetilerin toplamını ifade etmektedir. Bu kavram sağlıklı yaşlanmanın değeriendirilmesinde temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Cesari Matteo ve ark., 2022; Tang ve ark., 2025).

Yaşlanma literatüründe önemli bir klinik kavram olan kırılğanlık ise, fizyolojik rezervlerde azalma ve stres kaynaklarına karşı dayanıklılığın düşmesiyle karakterizedir. Kırılğanlık, istemsiz kilo kaybı, kas güçsüzlüğü, düşük fiziksel aktivite ve yavaş yürüme gibi göstergelerle tanımlanabilirken; güncel yaklaşımlar bilişsel, psikolojik ve sosyal boyutları da içeren çok boyutlu bir yapı olduğunu vurgulamaktadır (Fried ve ark., 2001).

Toplumda yaşayan yaşlı bireylerde kırılğanlık prevalansı genel olarak %10–15 arasında bildirilirken, kırılğanlık öncesi durumun %30’un üzerinde olduğu belirtilmektedir (Wu ve ark., 2023). Kırılğanlığın düşme, hastaneye yatış, fonksiyonel bağımlılık ve mortalite riskini belirgin şekilde artırdığı ortaya konmuştur (Kojima S. ve ark., 2023). Kırılğanlığın bilişsel ve sosyal alt boyutları da giderek önem kazanmaktadır. Bilişsel kırılğanlık, fiziksel kırılğanlıkla birlikte görölen ve demans gelişimi ile düşme riskini artıran bir ara durum olarak tanımlanmaktadır (Lyu ve ark., 2023; Nader ve ark., 2023). Sosyal kırılğanlık ise sosyal destek ağlarının zayıflaması, yalnızlık ve sosyal katılımın azalması nedeniyle

yaşam kalitesi ve fonksiyonel bağımsızlığı olumsuz etkilemektedir (Yamada ve ark., 2023).

Sağlıklı yaşlanma ve kırılabilirlik süreçleri, özellikle denge, mobilite ve düşme riski ile yakından ilişkilidir. İçsel kapasitesi yüksek bireylerde postüral kontrol daha iyi korunurken; kırılabilir bireylerde nöromüsküler zayıflık, duyu kayıpları ve bilişsel yavaşlama bir arada görülerek düşme riskini belirgin biçimde artırmaktadır (Liang ve ark., 2023; Shimada ve ark., 2023).

2.2. Yaşlılıkta Denge ve Postüral Kontrol

2.2.1. Dengenin Nörofizyolojisi

Denge kontrolü, vizüel, somatosensöriyel ve vestibüler sistemlerden gelen duyu girdilerinin merkezi sinir sistemi tarafından işlenmesi ve bu girdilere uygun motor yanıtın üretilmesi ile sağlanan dinamik bir süreçtir. Beyin sapı, serebellum, bazal gangliyonlar ve serebral korteks bu süreçte birlikte çalışmaktadır; özellikle serebellum, duyu bilgisi ile motor yanıt arasındaki uyumu sağlayan temel yapılardan biridir (FAPTA ve ark., 2023; Reymen ve ark., 2023).

Postüral kontrolün temel amacı, ağırlık merkezinin destek yüzeyi içinde tutulması ve görsel alanın stabil kalmasıdır. Merkezi sinir sistemi bu amaçla hem öngörülse (*feedforward*) hem de geri bildirim temelli (*feedback*) mekanizmaları kullanır. Beklenen denge bozulmalarında öngörülse postüral ayarlamalar, beklenmeyen itme veya kayma gibi durumlarda ise refleksif yanıtlar devreye girer (Peterka ve ark., 2018). Yaşlanma ile birlikte hem duyu girdilerinde hem de merkezi işlemede ortaya çıkan değişiklikler, özellikle dinamik denge, hızlı yön değiştirme ve çift görev (*dual-task*) gibi karmaşık durumlarda performans kaybına yol açmaktadır.

2.2.1.1. Vizüel Sistemin Özellikleri ve Yaşlanmanın Etkisi

Vizüel sistem, postüral kontrolün düzenlenmesinde merkezi rol oynayan duyu bileşenlerinden biridir. Görsel bilgi yalnızca çevresel nesnelerin konumu ve hareketinin algılanmasını sağlamaz; aynı zamanda baş ve gövde hareketleri sırasında görüntü stabilitesinin korunmasına, uzaysal yönelimin sürdürülmesine ve dengede kullanılacak uygun motor stratejilerin seçilmesine katkıda bulunur. Bu işlevlerin yerine getirilmesi,

göz hareketlerini ve baş hareketlerini uyumlu hâle getiren karmaşık nörofizyolojik süreçler ile gerçekleşmektedir (Leigh ve ark., 2015).

Denge kontrolü açısından vizüel sistemin iki temel işlevi ön plandadır. İlk olarak, çevredeki görsel ipuçları kullanılarak vücut segmentlerinin uzaydaki konumu değerlendirilmektedir. Bu işlem, görsel kortekse iletilen bilgilerin somatosensöriyel ve vestibüler girdilerle karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmektedir. İkinci önemli işlev ise baş hareketleri sırasında görüntünün sabit kalmasını sağlayarak görsel algının bozulmasını engellemektir. Bu süreç büyük ölçüde vestibülo-oküler refleks (VOR) tarafından düzenlenmektedir. VOR, gözlerin başın ters yönünde hızlı ve eş zamanlı hareket etmesini sağlayarak retinada görüntü kaymasını engeller. Göz hareketleri de postüral kontrol için önemli tamamlayıcı mekanizmalardır (Chaudhary ve ark., 2022).

Yaşlanma ile birlikte vizüel sistemin bu nörofizyolojik bileşenlerinde çeşitli yapısal ve işlevsel değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Retina pigment epiteli ve fotoreseptörlerde dejenerasyon, optik sinir iletiminde yavaşlama ve oksipital kortekste işleme hızının azalması görsel bilginin doğruluğunu ve zamanlamasını olumsuz yönde etkiler. Bu değişiklikler; baş hareketleri sırasında VOR'un etkinliğinin azalmasına, göz hareketlerinin gecikmesine ve hızlı çevresel değişimlere uyum sağlayabilme kapasitesinin düşmesine yol açmaktadır (Curcio, 2018; Guo ve ark., 2021).

Görsel işleme kapasitesindeki azalma, postüral kontrolün karmaşık çevresel koşullarda daha fazla bozulmasına neden olmaktadır. Düşük ışık, hareketli görsel sahneler, kalabalık ortamlar ve zemindeki küçük düzensizlikler gibi durumlar yaşlı bireylerde ağırlık merkezi kontrolünü zorlaştırmaktadır. Thomas ve arkadaşları, yaşlı bireylerin karmaşık görsel ortamda yürürken ağırlık merkezini daha geniş bir salınım aralığında kontrol ettiğini bildirmiştir (Teipel ve ark., 2022). Aynı şekilde Clark ve arkadaşları, görsel bilgi sınırlı olduğunda yaşlılarda postüral salınımın ve dengesizlik epizodlarının belirgin biçimde arttığını göstermiştir (Clark R. A. ve ark., 2012b).

Yaşlanma ile birlikte görsel bağımlılık olarak tanımlanan ve dengeyi korumak için görsel ipuçlarına aşırı yönelim ile karakterize olan durum da daha sık görülmektedir. Somatosensöriyel veya vestibüler girdilerin güvenilir olmadığı ortamlarda görsel bilginin

aşırı kullanımı, görsel bilginin bozulduğu zamanlarda dengenin hızlı şekilde kaybedilmesine yol açmaktadır (Agathos ve ark., 2020). Bu durum özellikle merdiven inip-çıkma, yön değiştirme, engellerden geçme veya zeminde ani değişimlerin olduğu zamanlarda belirginleşmektedir.

2.2.1.2. Somatosensöriyel Sistemin Özellikleri ve Yaşlanmanın Etkisi

Somatosensöriyel sistem; kas içcikleri, golgi tendon organları, eklem reseptörleri ve ayak tabanındaki mekanoreseptörlerden gelen duyuşal bilgilerin merkezi sinir sistemine iletilmesiyle postüröl kontrolün düzenlenmesinde temel rol oynamaktadır. Bu reseptörlerden gelen bilgiler, vücut segmentlerinin birbirine göre pozisyonunu, kas gerilimini, eklem açılarını ve destek yüzeyiyle temasın niteliğini belirleyerek hem statik hem de dinamik denge görevleri sırasında hızlı ve güvenilir geri bildirim sağlamaktadır (Proske ve ark., 2012). Bu girdiler beyin sapı, serebellum ve somatosensöriyel kortekste işlenmektedir; ardından öngörüşel (*feedforward*) ve düzeltici (*feedback*) postüröl tepkilerin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Yaşlanma ile birlikte somatosensöriyel sistemde belirgin yapısal ve işlevsel değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Periferik sinir iletim hızının azalması, miyelin bütünlüğünün bozulması ve özellikle distal sinir uçlarında görülen dejenerasyon sonucunda duyuşal bilginin iletimi yavaşlamaktadır. Ayrıca ayak tabanındaki mekanoreseptör yoğunluğunun azalması ve cilt duyuşunda meydana gelen kayıplar, yüzey özellikleri hakkında alınan bilgilerin hem kalitesini hem de doğruluğunu azaltmaktadır (Shaffer ve ark., 2007). Bu durum, zemin sertliği, kayganlık, eğim veya yüzey düzensizlikleri gibi çevresel değişikliklere verilen yanıtların gecikmesine neden olmaktadır.

Proprioseptif bilginin yaşla birlikte zayıflaması, özellikle ayak bileği ve diz eklemi üzerindeki pozisyon hissi ve eklem geri bildiriminin azalmasına yol açmaktadır. Apeksha ve arkadaşları plantar duyuşdaki azalmanın postüröl salınımı belirgin biçimde artırdığını ve dengesiz yüzeylerde adaptasyon süresinin uzadığını ortaya koymuştur (Apeksha ve ark., 2023). Benzer şekilde Menz ve arkadaşları, proprioseptif azalmanın ayak bileği stratejisini zayıflatıldığını, bu nedenle yaşlı bireylerin dengeyi korumak için daha geniş gövde hareketleri gerektiren kalça ve adım alma stratejilerine daha sık başvurduğunu bildirmiştir (Menz ve ark., 2005). Sonuç olarak somatosensöriyel sistemdeki yaşa bağlı

bozulmalar hem duyuşsal bilginin doğruluğunu azaltmakta hem de motor yanıtların zamanlamasını bozarak yaşı bireylerde düşme riskinin artmasına neden olmaktadır.

2.2.1.3. Vestibüler Sistemin Özellikleri ve Yaşlanmanın Etkisi

Vestibüler sistem; semi-sirküler kanallar ve otolit organlarından gelen bilgileri kullanarak baş hareketleri, doğrusal ivmeler ve yerçekimi ile ilişkili uzaysal konumun algılanmasını sağlamaktadır. Bu bilgiler, beyin sapındaki vestibüler çekirdeklere ulaştırıldıktan sonra vestibülospinal yollar aracılığıyla gövde ve alt ekstremitte kas tonusunu düzenleyen otomatik postüral yanıtlar oluşturulmaktadır. Aynı zamanda VOR sayesinde hareket sırasında görsel keskinlik korunmaktadır (Cullen, 2019).

Yaşlanma ile birlikte saç hücrelerinde kayıp, otolit hassasiyetinde azalma, vestibüler sinir iletiminde yavaşlama gibi periferik değişiklikler; vestibüler çekirdekler ve serebellar entegrasyonda yavaşlama gibi merkezi değişiklikler görölmektedir (Agrawal ve ark., 2009; Lacour ve ark., 2015). Klinik olarak bu değişimler karanlıkta yürüyüş zorluğu, rotasyonel dengesizlik, artmış postüral salınım ve uzaysal yönelim bozukluğu olarak yansımaktadır.

Nyabenda ve arkadaşları, yaşı bireylerde vestibülospinal refleks yanıtlarının zayıfladığını; Paquet ve arkadaşları ise FAT’da yaşlılarda sapma ve rotasyon açılarının gençlere göre anlamlı düzeyde arttığını bildirmiştir (Nyabenda ve ark., 2004; Paquet ve ark., 2017). Bu bulgular, vestibüler yaşlanmanın dinamik denge görevleri ve rotasyonel stabilite üzerinde belirgin etkileri olduğunu göstermektedir.

2.2.1.4. Merkezi Entegrasyon ve Duyusal Organizasyon

Denge kontrolü için tek bir duyuşsal sistemin yeterli olması beklenmez; vizüel, somatosensöriyel ve vestibüler girdilerin merkezi sinir sistemi tarafından uygun şekilde birleştirilmesi ardından güvenilirliğine göre ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu süreç “duyuşsal entegrasyon” veya “duyuşsal organizasyon” olarak adlandırılır (Peterka, 2018). Genç bireylerde merkezi sinir sistemi, örneğin yumuşak zeminde somatosensöriyel bilgi zayıfladığında vestibüler ve görsel girdilere hızla daha fazla ağırlık verebilmektedir. Yaşlanma ile serebellum ve parietal kortekste duyuşsal entegrasyondan sorumlu bölgelerdeki değişimler, bu esnekliğin azalmasına yol açmaktadır (Shumway-Cook ve

ark., 2007). Bunun sonucunda yaşlı bireyler, zemin özelliklerindeki değişimlere, düşük ışık koşullarına veya hızlı baş hareketlerine daha geç uyum sağlamaktadır. Özellikle somatosensöriyel bilginin bozulduğu koşullarda vestibüler sisteme zamanında geçiş yapılamaması, dengenin hızla kaybedilmesine neden olabilmektedir (Peterka, 2018). Ayrıca yaşlı bireylerde sık gözlenen aşırı görsel bağımlılık, duyuşsal organizasyon bozukluğuna işaret eden klinik bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Görsel bilginin baskın hâle gelmesi, görsel karmaşanın yüksek olduğu ortamlarda dengenin daha kolay bozulmasına neden olmaktadır (Agathos ve ark., 2020). Sonuç olarak yaşlanma, yalnızca tek tek duyuşsal sistemleri değil, bu sistemler arasındaki entegrasyon kapasitesini de zayıflatmakta; bu durum özellikle karmaşık çevresel koşullarda postüral kontrolü sürdürmeyi güçleştirmektedir.

2.2.2. Postüral Kontrol Stratejileri

Postüral kontrol, merkezi sinir sisteminin duyuşsal girdileri bütünleştirerek öngörüşel (*feedforward*) ve düzeltici (*feedback*) motor yanıtlar üretmesiyle sağlanmaktadır. Postüral kontrol stratejileri yaygın olarak; ayak bileği, kalça ve adım alma stratejileri olarak kategorize edilmektedir. Bireylerde hangi stratejinin devreye gireceği; bozulmanın şiddetine, yönüne, zeminin özelliklerine ve yaşla birlikte değişen nöromüsküler kapasiteye bağlıdır (Shumway-Cook ve ark., 2007; Mansfield ve ark., 2015).

2.2.2.1. Ayak Bileği ve Kalça Stratejileri

Ayak bileği stratejisi, küçük ve yavaş dengesizlikleri dengelemek için kullanılan temel mekanizmadır. Ayak bileği çevresindeki kasların ardışık aktivasyonu ile ağırlık merkezi destek yüzeyi içinde tutulmaktadır. Bu strateji özellikle sert, geniş ve stabil zeminlerde etkili olmaktadır. (Mansfield ve ark., 2015). Kalça stratejisi ise, ağırlık merkezinin daha şiddetli ve hızlı yer değiştirdiği durumlarda devreye girmektedir. Gövdenin kalça eklemi etrafında hızlı fleksiyon veya ekstansiyon hareketi yapmasıyla ağırlık merkezi yeniden düzenlenmektedir. Bu strateji yumuşak, dar veya dengesiz zeminlerde daha sık kullanılır ve güçlü abdominal–gluteal kontrol gerektirmektedir (Park ve ark., 2024).

Yaşlanma ile birlikte proprioseptif geri bildirimin azalması ve kas gücünün zayıflaması ayak bileği stratejisinin etkinliğini düşürmekte, bu nedenle yaşlı bireylerde kalça stratejisinin daha sık devreye girdiği bildirilmektedir (Wang Q. ve ark., 2022).

2.2.2.2. Adım Alma Stratejisi

Adım alma stratejisi, dengenin ayak bileği veya kalça stratejileriyle korunamayacak kadar bozulduğu durumlarda devreye giren koruyucu motor tepkidir. Bu stratejide birey destek tabanını genişletmek için hızlı bir adım atarak, ağırlık merkezini yeniden güvenli alana taşımaktadır. Yaşlanma ile birlikte adım alma yanıtı hem daha yavaş başlar hem de mekânsal doğruluğu azalır. Çalışmalar, yaşlı bireylerin adım başlatma süresinin uzadığını, adım uzunluğunun kısaldığını ve özellikle yan (lateral) adım alma kapasitesinin genç yetişkinlere göre belirgin olarak daha zayıf olduğunu göstermektedir (Mille ve ark., 2013; Rogers Mark W ve ark., 2021). Adım alma stratejisindeki gecikme, yaşlı bireylerde düşmeye karşı en kritik savunma mekanizmasının zayıflaması anlamına gelmektedir (Rogers M. W. ve ark., 2016).

2.2.2.3. Yaşlılıkta Strateji Kullanımındaki Değişimler

Yaşlanma, postüral strateji kullanımını hem duyuşsal bozulma hem de motor performans kaybı nedeniyle belirgin şekilde değiştirmektedir. Proprioepsiyonun zayıflaması ve ayak bileği kas kuvvetindeki azalma nedeniyle yaşlı bireylerde ayak bileği stratejisi daha az etkili hâle gelir; küçük dengesizliklerde bile kalça stratejisi daha sık devreye girer (Asghari ve ark., 2025). Ayrıca adım alma stratejisinin başlatılma süresi yaşla birlikte belirgin biçimde uzamaktadır. Yaşlı bireylerde adım uzunluğu azalır, adım doğruluğu bozulur ve çok yönlü dengesizliklerde uygun koruyucu yanıt üretme kapasitesi zayıflar (Wang Y. ve ark., 2017). Vestibüler sistemdeki yaşlanmaya bağlı yavaşlama ise özellikle baş hareketleriyle ilişkili dengesizliklerde strateji seçimini daha da geciktirmektedir. Bu değişiklikler, yaşlı bireylerde beklenmedik dengesizliklere karşı daha kırılgan, daha yavaş ve daha az etkili bir postüral kontrol sistemi oluşmasına neden olur; bu da düşme riskini artıran temel mekanizmalardan biridir (Sarvari ve ark., 2024).

2.3. Yaşlılıkta Denge ve Postüral Kontrol ile İlişkili Temel Problemler

Yaşlanma süreci, postüral kontrolün sağlanması için gerekli olan nöromüsküler, duyuşsal ve bilişsel mekanizmaların eş zamanlı olarak zayıflamasına yol açmakta; bu durum hem statik hem de dinamik denge performansında belirgin azalmaya neden olmaktadır. Denge sisteminin çok bileşenli yapısı göz önüne alındığında, yaşlı bireylerde ortaya çıkan dengesizliklerin tek bir faktörle açıklanamayacağı, bunun yerine fizyolojik, biyomekanik

ve psikososyal süreçlerin birleşik etkisine bağlı olduğu görülmektedir (Sturnieks Daina L ve ark., 2008a). Bu bağlamda yaşlılıkta denge kaybı; postüral salınım artışı, duyuşal entegrasyonda güçlük, kas kuvveti azalması, denge sınırlarının daralması, yürüyüş değışiklikleri, düşme korkusu, aktivite kısıtlılığı ve sosyal izolasyon gibi çok yönlü sonuçlarla kendini göstermektedir.

2.3.1. Fizyolojik ve Biyomekanik Bozukluklar

2.3.1.1. Artmış Postüral Salınım

Yaşlanma ile birlikte duyuşal bilginin doğruluğunun azalması ve kas-iskelet yapılarındaki dejeneratif değışimler, ayakta duruş sırasında ağırlık merkezinin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle yaşlı bireyler genç yetişkinlere kıyasla daha geniş bir postüral salınım aralığı sergilemektedir. Postüral salınımdaki bu artış; azalmış somatosensöriyel duyarlılık, görsel bağımlılığın yükselmesi ve merkezi sinir sisteminde duyuşal bütünleştirme hızındaki yavaşlama ile ilişkilidir (Melzer ve ark., 2016; Patel ve ark., 2021). Özellikle gözlerin kapalı olduğu ya da görsel bilginin zayıf olduğu koşullarda yaşlılarda salınımın belirgin biçimde artması, duyuşal sistemler arası telafi mekanizmalarının yaşla birlikte zayıfladığını göstermektedir.

2.3.1.2. Duyuşal Entegrasyon ve Adaptasyon Problemleri

Denge için gerekli olan görsel, somatosensöriyel ve vestibüler girdilerin beyinde analiz edilmesi ve koşula göre yeniden ağırlıklandırılması yaşlanma ile birlikte daha yavaş ve daha az esnek hâle gelir. Genç bireyler zemin değıştiğinde (örn. sert yüzeyden yumuşak yüzeye geçişte) hızla vestibüler girdiye yönelerek dengeyi koruyabilirken, yaşlı bireylerde bu duyuşal geçiş belirgin gecikme gösterir (Peterka, 2002). Adaptasyon mekanizmalarındaki bu yavaşlama; karanlık ortamlarda, dengesiz zeminlerde, hızlı yön değışimlerinde, görsel karmaşanın arttığı sahnelerde dengenin hızlı biçimde bozulmasına neden olmaktadır (Lee, 2017). Bu tablo, yaşlı bireylerde sık görülen aşırı görsel bağımlılık ile de ilişkilidir. Görsel bilginin bozulduğu durumlarda denge performansındaki düşüş bu bağımlılığın işlevsel bir göstergesidir.

2.3.1.3. Kas Güçsüzlüğü ve Postüral Düzeltme Tepkilerinde Gecikme

Kas güçsüzlüğü, yaşlı bireylerde postüral kontrol mekanizmalarının etkinliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Alt ekstremité kas gruplarının güç kaybetmesi, özellikle diz ekstansörleri, kalça abdükörleri ve ayak bileği çevresindeki kaslarda görülen zayıflık, ani dengesizlik durumlarında gerekli düzeltici yanıtların daha yavaş ve yetersiz oluşmasına yol açmaktadır (Carty ve ark., 2012).

Motor ünite kaybı ve sinir iletim yavaşlaması, kas kasılmasının başlatılma süresini uzatarak refleksif postüral yanıtların gecikmesine neden olur. Bu gecikme, özellikle beklenmedik denge kaybı veya çevresel değişimlerde düşmeyi önleyici adım stratejisinin gecikmesine yol açmaktadır. Yapılan bir çalışma sarkopeni varlığında yaşlı bireylerin statik postüral kontrol performansının, sağlıklı yaşlılara göre anlamlı düzeyde azaldığını ve bireylerin düşme riskinin arttığını göstermiştir (Hu ve ark., 2024).

Kas güçsüzlüğüne bağlı motor yanıt gecikmeleri, postüral düzeltme stratejilerinin gecikmesine, destek yüzeyi üzerinde uygun ağırlık dağılımının sağlanamamasına ve denge kontrolünün sürekliliğinde bozulmaya neden olmaktadır (Kim ve ark., 2025).

2.3.1.4. Denge Limitlerinin Daralması

Denge limitleri (LOS), bireyin ağırlık merkezini destek yüzeyinin dışına taşırmadan güvenle hareket edebileceği alanı ifade etmektedir. Yaşlanma ile birlikte eklem hareket açıklığında azalma, kas gücünde düşüş, korku temelli hareket sınırlamaları ve nöromotor koordinasyondaki zayıflama nedeniyle bu limitler daralmaktadır (Mancini Martina ve ark., 2010a). Bu daralma; yürüyüş sırasında yön değiştirirken, öne eğilme–arkaya uzanma gibi görevlerde, dar tabanlı duruşlarda kararsızlık oluşmasına yol açmaktadır. LOS yaşlı bireylerde düşme riskini öngören önemli biyomekanik göstergelerden biridir; LOS değerlerindeki azalmanın düşme eğilimi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (García ve ark., 2022).

2.3.2. Yürüme ve Fonksiyonel Sonuçlar

2.3.2.1. Yürüme Bozuklukları ve Yürüme Hızının Azalması

Yaşlanma ile birlikte yürüyüş hızı azalmakta, adım uzunluğu kısalmakta, çift destek süresi artmakta ve yürüyüşün koordinasyonu zayıflamaktadır. Bu değişimlerin, kas gücündeki

azalma ve proprioseptif geri bildirimin bozulması gibi periferel faktörlerle ilişkili olduğu bildirilmektedir. Ayrıca duyusal bilgilerin işlenmesindeki yavaşlama ve nöromüsküler koordinasyondaki azalma, bu değişimlerin daha belirgin hale gelmesine katkıda bulunmaktadır (Callisaya ve ark., 2010).

Yürüyüş hızı yaşlı erişkinlerde sağlık durumu, mortalite ve fonksiyonel sonuçlarla anlamlı şekilde ilişkilidir (Studenski ve ark., 2011). Yaşlanma ile birlikte yürüyüş paternindeki değişiklikler yalnızca yürüme hızında azalma ile sınırlı kalmayıp aynı zamanda adım ve ritim tutarsızlıkları gibi parametrelerin artmasına yol açmaktadır. Bu değişkenlik artışı ileri yaşlı bireylerde düşme riskinin öngörülmesinde güçlü bir belirteç olarak kabul edilmektedir. Prospektif bir çalışmada, artmış adım ve ritim tutarsızlıkları ile düşme riskinin yükseldiği gösterilmiştir (Hausdorff ve ark., 2001).

2.3.2.2. İkili Görev Performansında Bozulma

Yürüyüş genç bireylerde otomatikleşmiş bir motor görevken, yaşlanma ile birlikte yürüyüş daha fazla bilişsel kaynak gerektiren bir süreç hâline gelmektedir. Bu nedenle yürüyüş sırasında ikinci bir bilişsel görevin (*dual-task*) eklenmesi (ör. kelime üretme, mental aritmetik) yürüyüş hızını yavaşlatmakta, adım uzunluğunu azaltmakta ve yürüyüş kararlılığını bozmaktadır (Montero-Odasso ve ark., 2012). Çift görev sırasında gözlenen bu bozulma, yürütücü işlevlerdeki yavaşlama, dikkat kapasitesindeki düşüş ve motor-kognitif etkileşimin zayıflamasıyla ilişkilidir. Beauchet ve arkadaşları, yürüyüş sırasında bilişsel bir görevin eklenmesiyle ortaya çıkan performans bozulmasının, yaşlı bireylerde düşme riskini öngörebilen önemli bir belirteç olduğunu bildirmektedir. Bu durumun, dikkat kaynaklarının bölünmesine bağlı olarak çevresel değişikliklere verilen reaksiyon süresinin yavaşlaması ve beklenmedik durumlarda postüral yanıtların gecikmesi ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Beauchet ve ark., 2009).

2.3.2.3. Fonksiyonel Bağımsızlığın ve Mobilite Kısıtlılıklarının Ortaya Çıkması

Yaşlanmaya bağlı denge ve yürüyüş bozuklukları, günlük yaşam aktivitelerinin sürdürülmesini güçleştirmekte ve fonksiyonel bağımsızlık üzerinde belirgin kısıtlamaya yol açmaktadır. Merdiven çıkma, yön değiştirme, uzun süre ayakta durma veya dar alanlarda hareket etme gibi görevlerde görülen performans azalması mobilitiyi kademeli olarak sınırlar.

Mobilitedeki bu düşüş, “azalan aktivite → kas güçsüzlüğü → daha fazla hareket kısıtlılığı” şeklinde bir döngü oluşturarak kırılmanın ilerlemesine katkıda bulunur (Cesari M. ve ark., 2016). Mobilite kısıtlılığı arttıkça yaşlı bireylerde sosyal katılım ve günlük aktivite düzeyleri azalmaktadır; bu durum yaşam kalitesinin olumsuz etkilenmesi ile ilişkilidir (Bowling ve ark., 2007).

2.3.3. Travmatik ve Psikososyal Etkiler

2.3.3.1. Düşme ve İlişkili Yaralanmalar

Düşmeler, yaşlı bireylerde hem mortalite hem de morbiditenin en önemli nedenlerinden biridir. DSÖ’ye göre 65 yaş üzeri bireylerin %30–50’si her yıl en az bir kez düşmekte olup, bu düşmelerin %10–15’i ciddi yaralanmalarla sonuçlanmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2021). Kalça kırıkları, kafa travmaları, omurga yaralanmaları ve uzun süre hareketsiz kalmaya bağlı komplikasyonlar yaşlı bireylerde fonksiyon kaybına ve yaşam süresinde azalmaya yol açmaktadır. Çalışmalar, yaşlı bireylerde düşme sonrasında fonksiyonel bağımsızlığın sıklıkla olumsuz etkilendiğini ve yalnızca bir kısmının önceki bağımsızlık düzeyine yeniden ulaşabildiğini göstermektedir (Adam ve ark., 2024). Bu doğrultuda bazı araştırmalarda, düşme yaşayan yaşlı bireylerin yalnızca %58–75’inin bağımsız yaşamsal fonksiyonlarını sürdürebildiği bildirilmektedir (Sá ve ark., 2019).

2.3.3.2. Düşme Korkusu

Düşme korkusu, bir düşme yaşanmamış olsa bile ortaya çıkabilen yaygın bir psikososyal durumdur (MacKay ve ark., 2021). Düşme korkusu; aktivite kaçınmasına, dengenin korunması için aşırı temkinli postüral stratejilere, daha yavaş yürüyüş hızına ve çevresel duyarlılığın artmasına neden olmaktadır. Literatür, düşme korkusunun fiziksel aktivite düzeyini azaltarak fonksiyonel kapasiteyi olumsuz etkilediğini ve düşme riskini artırdığını göstermektedir (Scheffer ve ark., 2008).

Düşme korkusu, yalnızca psikolojik bir korku durumu olmayıp; motor davranışları, bilişsel süreçleri ve duygusal tepkileri etkileyen çok boyutlu bir klinik belirteç olarak değerlendirilmektedir (Peeters ve ark., 2019).

2.3.3.3. Aktivite Kısıtlılığı ve Hareketsizlik Döngüsü

Düşme korkusu, duyuşal bozulmalar ve postüral kontrol zayıflığı zamanla fiziksel aktivite düzeyinin azalmasına yol açmaktadır. Fiziksel aktivitenin azalması ise kas gücü kaybını hızlandırmakta, kardiyovasküler dayanıklılığı düşürmekte ve eklem hareket açıklığında azalmaya neden olmaktadır (Paterson ve ark., 2010). Bu süreç, literatürde “hareketsizlik döngüsü” olarak tanımlanmaktadır: azalan aktivite → zayıflayan kaslar → daha fazla denge kaybı → artan düşme korkusu → daha az aktivite. Bu döngü kırılmadığında düşme riski ve fonksiyonel kayıp giderek artar (Meadmore ve ark., 2007).

2.3.3.4. Sosyal İzolasyon ve Yaşam Kalitesinin Düşmesi

Denge bozuklukları, düşme korkusu ve yürüyüşteki bozulmalar, yaşlı bireylerin ev dışı aktivitelerini sınırlandırarak sosyal etkileşim düzeyinde azalmaya yol açabilmektedir. Sosyal izolasyonun yaşlı bireylerde depresyon, genel sağlık durumunda bozulma ve yaşam kalitesinde düşüş ile yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir (Courtin ve ark., 2017). Güncel derlemeler, sosyal izolasyonun hem fiziksel sağlık hem de psikolojik iyi oluş üzerinde olumsuz etkileri olduğunu göstermektedir (Holt-Lunstad, 2021).

2.4. Yaşlılıkta Postüral Kontrol, Denge ve Vestibüler Fonksiyonların Değerlendirilmesi

Yaşlı bireylerde postüral kontrolün değerlendirilmesi, düşme riskinin belirlenmesi, fonksiyonel kapasitenin nesnel olarak tanımlanması ve uygun rehabilitasyon stratejilerinin planlanması açısından kritik bir adımdır. Postüral kontrolün duyuşal (vizüel, somatosensöriyel ve vestibüler), motor ve bilişsel bileşenlerden oluştuğu düşünüldüğünde, değerlendirme sürecinin de çok boyutlu bir yaklaşım içermesi gerekmektedir (Shumway-Cook ve ark., 2017). Son yıllarda denge değerlendirmeleri yalnızca gözleme dayalı klinik testlerle sınırlı kalmayıp, teknoloji temelli ölçüm sistemleri ile desteklenerek daha nesnel ve hassas hâle gelmiştir (Mancini M. ve ark., 2010b).

2.4.1. Klinik Değerlendirmeler

Klinik değerlendirme araçları, yaşlı bireylerde denge, mobilite, kas kuvveti ve fonksiyonel kapasitenin kapsamlı biçimde değerlendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Yaşlanmayla birlikte ortaya çıkan nöromüsküler zayıflık, duyuşal gerileme, yavaşlama ve postüral stabilitedeki azalma; düşme riskinin artmasına ve bağımsızlığın azalmasına

zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle klinik testler hem fiziksel işlevselliğin düzeyini belirlemek hem de risk altındaki bireyleri erken dönemde tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Gómez-Campos ve ark., 2023).

Çalışmalarda sıklıkla kullanılan ölçümler; statik ve dinamik denge, fonksiyonel mobilite, alt ekstremité kuvveti, yön değiştirme performansı, kavrama kuvveti, fiziksel aktivite düzeyi, bilişsel fonksiyon, düşme korkusu, kırılabilirlik ve yaşam kalitesi gibi alanları kapsamaktadır. Bu kapsamda Berg Denge Ölçeği (BDÖ), Zamanlı Kalk-Yürü Testi (ZKYT), Beş Defa Otur-Kalk Testi, 360° Dönme Testi, kavrama kuvveti ölçümü, fiziksel aktivite ve yaşam kalitesi değerlendirmeleri, bilişsel tarama testleri, düşme değerlendirmesi ve kırılabilirlik ölçekleri gibi araçlar, yaşlı bireylerde fonksiyonel kapasitenin kapsamlı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Jepsen ve arkadaşları tarafından yapılan sistematik derlemede, yaşlı yetişkinlerde denge ve fonksiyonel mobilitenin değerlendirilmesinde ZKYT ve BDÖ gibi standart klinik performans testlerinin yaygın olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Aynı derlemede, düşme riskinin değerlendirilmesinde bu testlerin birlikte ele alınmasının daha kapsamlı ve klinik açıdan anlamlı sonuçlar sağladığı vurgulanmaktadır (Beck Jepsen ve ark., 2022).

2.4.2. Vestibüler Değerlendirme Yöntemleri

Vestibüler sistem yaşlanmadan en fazla etkilenen duyuşal yapılardan biridir ve vestibüler değerlendirmeler yaşlı bireylerde denge bozukluklarını anlamada kritik önem taşımaktadır. Yaşlanmaya bağılı olarak saç hücrelerinde azalma, otolit fonksiyonlarında duyarlılık kaybı ve santral vestibüler işlemlerde yavaşlama meydana gelmektedir. Bu değişiklikler yaşlı bireylerde denge bozukluğu ve düşme riskinin artmasına katkıda bulunmaktadır (Agrawal ve ark., 2020).

Klinik vestibüler değerlendirme; pozisyonel testler (Dix–Hallpike, Roll), vestibülo-oküler refleksi değerlendiren Head Impulse Testi (HIT/vHIT), statik dengeyi inceleyen Romberg ve Tandem Romberg testleri ile göz hareketlerinin analizi gibi çeşitli yöntemleri içermektedir. Bununla birlikte, vestibülospinal fonksiyonun fonksiyonel ve pratik değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan önemli klinik testlerden biri de Fukuda Adımlama Testi'dir (FAT). FAT, bireyin gözler kapalı şekilde yerinde adımlaması sırasında oluşun rotasyon ve yer değiştirme miktarını değerlendirerek vestibüler asimetri

ve postüral kontrol hakkında bilgi sağlamaktadır (Honaker ve ark., 2012). Basit, kısa sürede uygulanabilir ve ek ekipman gerektirmemesi nedeniyle özellikle klinik ve saha koşullarında tercih edilmekte; bu özellikleri testin yaşlı bireylerde denge ve yönelim kontrolünün değerlendirilmesinde pratik ve kullanışlı bir araç olmasını sağlamaktadır.

2.4.3. Fukuda Adımlama Testi

Fukuda Adımlama Testi (FAT), gözler kapalı ritmik adımlama sırasında gelişen yön sapması, rotasyon ve yer değiştirme miktarını değerlendirerek vestibülospinal sistemin işlevsel bütünlüğünü inceleyen klasik bir klinik tarama testidir. Test sırasında görsel bilgi elimine edildiği için bireyin postüral kontrolü büyük ölçüde vestibüler ve proprioseptif girdilere dayanır; bu da FAT'ı özellikle vestibüler asimetri, yaşa bağlı vestibüler zayıflık ve duyuusal entegrasyon bozukluğu açısından duyarlı bir değerlendirme aracı hâline getirir (Lacour ve ark., 2015).

Klasik Fukuda Adımlama Testi literatürde 50 adım boyunca gözler kapalı, kollar 90° önde olacak şekilde yapılan standart bir vestibüler denge testidir (Honaker ve ark., 2012). Test sonunda rotasyon açısı, lateral veya antero-posterior sapma ve adım ritmi değerlendirilir. Literatürde 45° üzerindeki rotasyon vestibülospinal disfonksiyon göstergesi olarak tanımlanmakla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalar yaşlanmaya bağlı fizyolojik değişiklikler nedeniyle daha düşük düzeyli sapmaların da görülebileceğini belirtmektedir (Nyabenda ve ark., 2004). Yaşlı bireylerde özellikle lateral kayma ve öne doğru sapma gibi parametrelerin daha belirgin olduğu bildirilmiştir; bu sapmalar vestibüler saç hücre kaybı, otolit hassasiyet azalması ve merkezi entegrasyon hızındaki yavaşlama ile ilişkilidir (Arshad ve ark., 2016; Jahn, 2019).

FAT'ın performansını etkileyen fizyolojik mekanizmalar arasında vestibülospinal refleksin yavaşlaması, otolit girdilerinin azalması, proprioseptif duyarlılığın zayıflaması ve görsel bağımlılığın artması önemli rol oynar. Bu nedenle yaşlı bireylerde test sırasında adım ritmi daha düzensiz, gövde rotasyon kontrolü daha zayıf ve baş-gövde koordinasyonu daha bozulmuş şekilde gözlenir. Bu bulgular yaşlanmaya bağlı sensorimotor bütünleşme bozukluğunun işlevsel göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Agrawal ve ark., 2020).

FAT'ın güvenilirliği geçmişte tartışmalı olsa da modern çalışmalar özellikle lateral ve anterior yer değiştirme ölçümlerinin rotasyona kıyasla daha güvenilir olduğunu göstermiştir. Paquet ve arkadaşları 50 adımlık protokolün 100 adıma göre daha yüksek test-tekrar test güvenilirliği sağladığını bildirmiştir (Paquet ve ark., 2016). Ancak testin geçerliliği sınırlıdır; çünkü rotasyon miktarı yalnızca vestibüler değil, aynı zamanda proprioseptif ve hatta davranışsal faktörlerden de etkilenebilmektedir. Bu nedenle FAT tek başına tanısal bir test olarak değil, vestibüler ve postüral kontrolün genel değerlendirme bataryasında tamamlayıcı bir araç olarak önerilmektedir (Honaker ve ark., 2009).

FAT'ın zayıf yönleri arasında sonuçların gözlemsel değerlendirilmesi, ölçümlerin subjektifliği, test ortamındaki ışık, zemin ve işitsel ipuçlarından etkilenme ve bireyler arası büyük performans değişkenliği yer alır (Cohen, 2019). Bu nedenle güncel literatürde testin teknoloji destekli, objektif ölçüm sistemleri ile modernize edilmesini önerilmektedir (Zhang ve ark., 2011).

2.5. Rehabilitasyonda Hareket Analizi Sistemleri

Hareket analizi sistemleri, postüral kontrol, denge, yürüyüş ve fonksiyonel performansın objektif olarak değerlendirilmesini sağlayan modern ölçüm teknolojileridir. Bu sistemler klinik uygulamalarda rehabilitasyon ilerlemesinin takip edilmesi, duyuşal-motor bozulmaların tespiti ve müdahale planının optimize edilmesinde merkezi rol oynar. Günümüzde kullanılan hareket analizi sistemleri arasında optoelektronik sistemler, ataletsel ölçüm birimleri (IMU), markerless derinlik sensörleri ve RGB kameralar öne çıkmaktadır (Cohen, 2019).

2.5.1. Optoelektronik Sistemler

Optoelektronik sistemler, vücuda yerleştirilen reflektif markerların çoklu yüksek hızlı kameralar tarafından takip edilmesiyle üç boyutlu hareket yakalama imkânı sunar. Vicon ve Qualisys gibi sistemler yüksek doğruluk ve yüksek uzaysal çözünürlükleri nedeniyle “altın standart” olarak kabul edilmektedir (Das ve ark., 2023). Ancak maliyetlerinin yüksek olması, laboratuvar gereksinimi ve klinik taşınabilirliğin düşük olması nedeniyle günlük klinik kullanımı sınırlıdır.

2.5.2. Ataletsel Ölçüm Birimleri (IMU Sistemleri)

İvmeölçer, jiroskop ve manyetometreden oluşan *IMU* sensörleri, taşınabilir yapıları sayesinde klinik değerlendirmelerde giderek daha yaygın kullanılmaktadır. *IMU*'lar yürüme hızı, adım uzunluğu, segmental hız ve açısal değişimleri yüksek örnekleme hızlarıyla kaydedebilir. Ancak manyetik gürültü ve sensör kayması gibi sorunlar nedeniyle sinyal filtreleme gereksinimi vardır (Laidig ve ark., 2021).

2.5.3. Markerless Sistemler

Markerless sistemler, bireyin vücuduna herhangi bir sensör bağlanmadan hareket takibi yapılmasına olanak tanır. *Kinect*, *Intel RealSense* ve *Zed* gibi sistemler, derinlik kameraları aracılığıyla üç boyutlu nokta bulutu üretir ve vücut iskeletini gerçek zamanlı olarak takip eder. Bu nedenle yaşlı bireylerde denge ve yürüyüş değerlendirmelerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir (Jeyasingh-Jacob ve ark., 2024).

2.5.4. RGB Kameralar

RGB kameralar 2D görüntü yakalama kapasitesine sahip olup ek bir derinlik bilgisi sunmadıkları için gelişmiş kinematik analizlerde sınırlıdır. Bununla birlikte düşük maliyet ve kolay erişilebilirlik nedeniyle tele-rehabilitasyon, postür analizi ve temel hareket izleme gibi alanlarda kullanılabilmektedir (Ohshima, 2025).

2.6. Microsoft Kinect Teknolojisi

Microsoft Kinect, derinlik algılama kapasitesi, *markerless* iskelet takibi ve düşük maliyetli yapısı sayesinde son yıllarda klinik araştırmalarda ve rehabilitasyon bilimlerinde sık kullanılan bir hareket analiz sistemine dönüşmüştür. Literatür Kinect'in hem doğruluk hem de uygulanabilirlik açısından klinik değerlendirmelerde kullanılabilir olduğunu göstermektedir (Springer ve ark., 2016).

2.6.1. Donanım Özellikleri ve Derinlik Algılama Prensibi

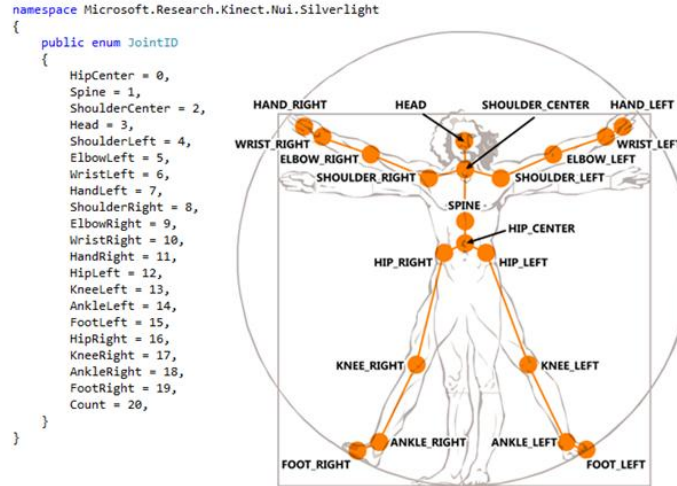
Kinect sensörü; kızılötesi (IR) projektör, IR kamera ve RGB kameradan oluşan entegre bir derinlik sistemi kullanır. *Time-of-Flight (ToF)* prensibi sayesinde her pikselin sensöre dönüş süresi ölçülerek üç boyutlu derinlik haritası oluşturulur. Bu harita vücut segmentlerinin konumunu milimetreye yakın hassasiyetle belirlemeye olanak tanımaktadır (Otte ve ark., 2016).



Şekil 2.1. Kinect v2 Cihazı

2.6.2. Kinect Yazılım Geliştirme Kiti (SDK) ve İskelet Takibi

Kinect SDK, vücuttaki 25 eklem noktasını gerçek zamanlı olarak izlemektedir. Sensörden alınan nokta bulutu verileri Microsoft tarafından geliştirilen nesne tabanlı bir programlama dili olan C# kullanılarak geliştirilen uygulamada işlenerek kinematik parametreler elde edilmektedir (B ve ark., 2019).



Şekil 2.2. Kinect'in sensörünün izlediği noktalar

2.6.3. Kinematik Veri Toplama Potansiyeli

Kinect; eklem açıları, gövde yönelimi, segment hareketleri, adım döngüleri, yer değiştirme ve hız gibi pek çok parametreyi eş zamanlı ölçebilmektedir. Bu yönüyle geleneksel klinik testlerin sunduğu gözlemsel değerlendirmeyi, sayısal, milisaniye bazlı ve objektif ölçümlere dönüştürür (Bawa ve ark., 2021)

2.6.4. Rehabilitasyonda Microsoft Kinect'in Kullanımı

Kinect; yaşlılarda denge değerlendirmesi, Parkinson hastalarında motor performans analizi, inme sonrası rehabilitasyon, üst ekstremitte egzersiz takibi ve tele-rehabilitasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Dehbandi ve ark., 2017). Webster ve arkadaşları, Kinect tabanlı sistemlerin yaşlı bakımı ve inme rehabilitasyonu başta olmak üzere farklı klinik alanlardaki kullanımını ve araştırma eğilimlerini kapsamlı biçimde derlemiştir (Webster ve ark., 2014). Ma ve arkadaşları, Kinect V2 tabanlı bir rehabilitasyon oyun sisteminin üst ekstremitte fonksiyonlarının hem değerlendirilmesi hem de rehabilitasyon sürecinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Ma ve ark., 2018). Gal ve arkadaşları, Kinect kullanılarak geliştirilen e-rehabilitasyon sistemlerinin postür ve hareket takibini mümkün kıldığını ve bu yaklaşımın rehabilitasyon uygulamalarında faydalı olduğunu bildirmiştir (Gal ve ark., 2015). Chanpimol ve arkadaşları, kronik ve şiddetli travmatik beyin hasarı olan bir bireyde Kinect destekli uygulamaların dinamik denge rehabilitasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir (Chanpimol ve ark., 2017). Liu ve arkadaşları, Kinect tabanlı bir değerlendirme sisteminin yaşlı bireylerde fonksiyonel performansın ölçümünde iyi düzeyde güvenilirlik gösterdiğini ve bildirilen test-tekrar test ICC değerlerinin 0,75'in üzerinde olduğunu rapor etmiştir (Liu ve ark., 2023). Clark ve arkadaşları Kinect'in geleneksel hareket analiz sistemlerine kıyasla daha düşük maliyetli, taşınabilir ve klinik uygulamalara daha uygun bir alternatif sunduğunu vurgulamaktadır (Clark R. A. ve ark., 2012b). Bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, Kinect'in düşük maliyetli olmasına karşın klinik değerlendirme ve rehabilitasyon uygulamalarında yüksek uygulanabilirlik ve araştırma potansiyeline sahip bir araç olduğunu göstermektedir.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, yaşlı bireylerde derinlik sensörü kullanılarak gerçekleştirilen modifiye edilmiş FAT'ın test-tekrar test güvenirliğini değerlendirmek ve elde edilen sensör verilerinin kırılganlık, denge, düşme riski, bilişsel durum, kas kuvveti ve yaşam kalitesi gibi klinik parametrelerle olan ilişkisini incelemek amacıyla kesitsel ve metodolojik bir araştırma olarak tasarlandı. Çalışma protokolü, literatürde standardize edilmiş klinik denge ve mobilite testleri ile derinlik sensörlerine dayalı hareket analizi yöntemlerinden yararlanılarak oluşturdu. Tüm değerlendirmeler araştırma protokolü doğrultusunda aynı fizyoterapist tarafından uygulandı.

3.2. Araştırma Etiği

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 30.01.2025 tarih ve TBAEK-168 sayılı onayı ile yürütüldü (EK-1). Çalışmaya katılmayı kabul eden tüm bireylere araştırmanın amacı, süreci ve olası riskleri açıklandı ve yazılı gönüllü onamları alındı. Araştırma süreci boyunca Helsinki Bildirgesi'ne uygun hareket edildi.

3.3. Bireyler

Araştırmanın evrenini, Antalya ilinde yaşayan ve toplum içinde bağımsız olarak mobilize olan 65–80 yaş arası bireyler oluşturdu. Örneklem büyüklüğü, düşük düzey etki büyüklüğü (Cohen's $d = 0.3$), $\alpha = 0.05$ ve %80 güç düzeyi kullanılarak hesaplandı ve en az 82 bireyin yeterli olduğu belirlendi. Olası kayıplar ve tekrar oturumuna katılamama durumu göz önünde bulundurularak çalışmaya 90 bireyin dahil edilmesi planlandı.

3.3.1. Dahil Edilme Kriterleri

- 65–80 yaş arasında olan,
- Okuma-yazma bilen,
- Bağımsız ayakta durabilen ve adımlama yapabilen,
- Bilişsel değerlendirmede MoCA $\geq$ 26 puan alan,
- Çalışmaya katılmaya gönüllü olan ve onam veren kişiler araştırmaya dahil edildi.

3.3.2. Dahil Edilmeme Kriterleri

- Nörodejeneratif veya nörojenik hastalık öyküsü bulunan,
- Test talimatlarını görsel olarak takip edemeyecek veya güvenli şekilde ayakta durmayı sürdüremeyecek düzeyde görme bozukluğu bulunan,
- Son 6 ayda kırık, bağ yaralanması veya protez cerrahisi öyküsü bulunan,
- Hareketi engelleyebilecek düzeyde eklem limitasyonları bulunan,
- Ortopedik veya psikiyatrik problemi bulunan,
- Kognitif etkilenimi bulunan (MoCA <26) ve onam vermeyen kişiler araştırmaya dahil edilmedi.

3.4. Yöntem

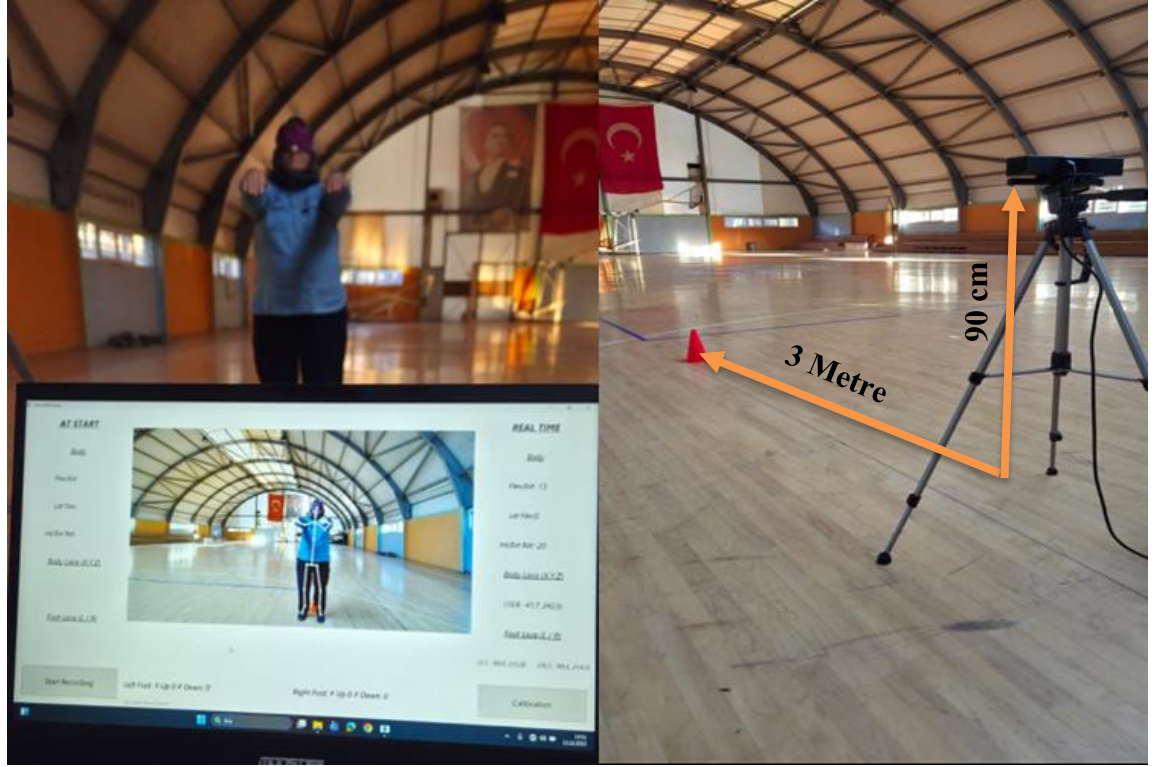
Veri toplama süreci iki aşamada yürütüldü. İlk aşamada katılımcılara klinik değerlendirme ölçekleri ve Modernize Edilmiş FAT uygulandı. İkinci aşamada ise test–tekrar test güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla Modernize Edilmiş FAT, ilk uygulamadan bir hafta sonra aynı koşullar altında yeniden uygulandı.

3.4.1. Kinect ile Modernize Edilmiş Fukuda Adımlama Testi

Fukuda Adımlama Testi (FAT), bireylerin vestibüler fonksiyonlarını ve dinamik denge performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan basit ve uygulanması hızlı bir testtir. Çalışmamızda test, Kinect sensörü ve C# ile geliştirilen yazılım aracılığıyla modernize edildi; bu sistem, test sırasında katılımcının tüm vücut hareketlerini ve segment rotasyonlarını objektif ve hassas şekilde ölçmeye imkân sağlamaktadır. Ayrıca veriler otomatik olarak kaydedildiği için klinik ortamda zamandan tasarruf sağlamaktadır ve rehabilitasyon planlamasında doğrudan kullanılacak nicel bilgiler sunmaktadır. Katılımcılar başlangıç pozisyonunda gözleri kapalı ve kolları 90° öne uzatılmış şekilde konumlandı ve 50 adım boyunca yerinde adımlama yapmaları istendi. Geleneksel değerlendirmede rotasyon açısı ve yer değiştirme miktarı temel parametrelerdir.

Literatürde 50 adım sonunda 30°'den fazla rotasyon veya 0,5 metreden fazla yer değiştirme vestibüler asimetri göstergesi olarak bildirilmiştir (Honaker ve ark., 2012).

Bu çalışmada test, Microsoft Kinect V2 sensörü ile eş zamanlı olarak kaydedildi. Kinect V2'nin *time-of-flight* teknolojisiyle çalışan derinlik algılama sistemi kullanıldı. Sensör, Kinect V2'ye özgü olarak geliştirilmiş ve önceden tanımlanmış iskelet modeli doğrultusunda, derinlik verisine dayalı iskelet takip algoritması aracılığıyla saniyede 30 kare hızla 25 eklem noktasını üç boyutlu olarak izledi. Kinect'in postür ve denge analizlerinde geçerli ve güvenilir bir araç olduğu önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Faity ve ark., 2022).



Şekil 3.1. Kinect cihazının konumlandırılması ve bilgisayardaki görüntüsü

Sensör, katılımcının tam vücut izlenmesini sağlayacak şekilde 3 metre uzaklıkta ve zeminden 90 cm yükseklikte yerleştirildi. Sensörden elde edilen üç boyutlu eklem koordinatları, C# dili ile geliştirilen özel yazılım aracılığıyla işlendi. Yazılımla birlikte aşağıdaki metrikler hesaplandı:

Test süresi (s): Kayıt başlangıcında alınan ilk zaman damgası ile kayıt sonunda alınan son zaman damgası arasındaki fark kullanılarak hesaplandı ve saniye (s) cinsinden ifade edildi. Bu parametre, katılımcının testi tamamlama süresini temsil etmektedir.

AP yer değiştirme (cm): Anterior–posterior (AP) yer değiştirme, spineBasePoint noktasının kayıt başlangıcı ve bitişi arasındaki z eksen değeri arasındaki fark kullanılarak hesaplandı ve santimetre (cm) cinsinden ifade edildi.

ML yer değiştirme (cm): Medial–lateral (ML) yer değiştirme, spineBasePoint noktasının x eksen boyuna başlangıç ve bitiş değeri arasındaki fark kullanılarak hesaplandı ve santimetre (cm) cinsinden raporlandı.

Total planar yer değiştirme (cm): Toplam düzlemsel yer değiştirme, spineBasePoint noktasının AP (z) ve ML (x) eksenlerindeki yer değiştirmeleri kullanılarak iki boyutlu düzlemde Ökliden mesafe formülü ile hesaplandı ve santimetre (cm) cinsinden ifade edildi.

Gövde fleksiyon değişimi ($^{\circ}$): Gövde fleksiyon/ekstansiyon değişimi, spineBasePoint ve spineShoulderPoint noktaları arasındaki vektör kullanılarak hesaplandı. Bu vektörün sagittal düzlemde (xz düzlemi) z eksen ile yaptığı açının kayıt süresince gösterdiği maksimum ve minimum değerler arasındaki fark derece ($^{\circ}$) cinsinden belirlendi.

Gövde lateral fleksiyon değişimi ($^{\circ}$): Gövde lateral fleksiyon değişimi, spineBasePoint ve spineShoulderPoint noktaları arasındaki vektörün frontal düzlemde (yz düzlemi) dikey referansa göre oluşturduğu sağ ve sol eğilme açıları arasındaki fark kullanılarak hesaplandı.

Üst gövde rotasyon değişimi ($^{\circ}$): Üst gövde rotasyonu, shoulderLeftPoint ve shoulderRightPoint noktaları arasındaki omuz hattı vektörü kullanılarak hesaplandı. Omuz hattının yatay düzlemde Kinect referans eksen ile yaptığı açının maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark üst gövde rotasyon değişimi olarak tanımlandı.

Tam gövde rotasyon değişimi ($^{\circ}$): Tam gövde rotasyon değişimi, omuz hattı (shoulderLeftPoint–shoulderRightPoint) ve ayak hattı (footLeftPoint–footRightPoint)

için oluşturulan yatay düzlem yön vektörleri arasındaki açısal fark kullanılarak hesaplandı ve üst ve alt gövde segmentleri arasındaki rotasyonel uyumsuzluğu temsil etmektedir.

Baş fleksiyon/ekstansiyon değişimi ($^{\circ}$): Baş fleksiyon ve ekstansiyon hareketi, headPoint ve neckPoint noktaları arasındaki vektör kullanılarak sagittal düzlemde (xz düzlemi) hesaplandı. Kayıt süresince elde edilen maksimum ve minimum açı değerleri arasındaki fark derece ($^{\circ}$) cinsinden ifade edildi.

Baş aksiyal rotasyon değişimi ($^{\circ}$): Başın aksiyal rotasyonu, headPoint ve neckPoint noktaları kullanılarak yatay düzlemde hesaplandı. Sağ ve sol rotasyon yönlerinde elde edilen maksimum açı değerleri arasındaki fark baş aksiyal rotasyon değişimi olarak belirlendi.

Baş lateral fleksiyon değişimi ($^{\circ}$): Baş lateral fleksiyon hareketi, headPoint ve neckPoint noktaları arasındaki vektörün frontal düzlemde (yz düzlemi) oluşturduğu sağ ve sol eğilme açıları arasındaki fark kullanılarak hesaplandı.

Baş ML yer değiştirmesi (cm): Başın medial–lateral yer değiştirmesi, headPoint noktasının x eksenini boyunca kayıt başlangıcı ve bitişi arasındaki fark kullanılarak santimetre (cm) cinsinden hesaplandı.

Baş SI yer değiştirmesi (cm): Başın superior–inferior yer değiştirmesi, headPoint noktasının y eksenini boyunca zaman içerisindeki değişimi kullanılarak hesaplandı ve santimetre (cm) cinsinden ifade edildi.

Baş AP yer değiştirmesi (cm): Başın anterior–posterior yer değiştirmesi, headPoint noktasının z eksenini boyunca kayıt başlangıcı ve bitişi arasındaki fark kullanılarak hesaplandı ve santimetre (cm) cinsinden raporlandı.

Bu parametrelerin hesaplanma yöntemleri ve birim ölçüleri yukarıda açıklandığı şekilde belirlenmiştir. Yazılım geliştirme çalışmaları ve veri işleme süreçleri bir mühendis tarafından yürütüldü.

Test uygulanmadan önce her katılımcıya bir deneme yaptırıldı. Ardından üç tekrar gerçekleştirildi ve ortalama değer kaydedildi. Tekrarlar arasında 60 saniye dinlenme

süresi verildi. Test–tekrar test güvenilirliğinin değerlendirilmesi için test aynı koşullarda bir hafta sonra yeniden uygulandı.

3.5. Değerlendirme Parametreleri

3.5.1. Demografik ve Sağlıkla İlişkili Bilgiler

Katılımcıların yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, dominant tarafı, son 6 ay içerisindeki düşme durumu ve beden kütle indeksi verileri demografik bilgi formu kullanılarak kaydedildi.

3.5.2. Frail Kırılganlık Ölçeği

Yaşlı bireylerin kırılganlık düzeylerini değerlendirmek amacıyla beş maddeden oluşan Frail Kırılganlık Ölçeği kullanıldı. Ölçek; yorgunluk, yürüme hızı, hastalık sayısı, kilo kaybı ve direnç bileşenlerini değerlendirmektedir. Her madde 0–1 puan arasında değerlendirildi ve toplam puan 0–5 aralığında hesaplanmaktadır. Yüksek puan, daha yüksek kırılganlık düzeyini göstermektedir. Ölçeğin kesme değerlerine göre 0 puan "Non-frail" (kırılgan olmayan), 1–2 puan "Pre-frail" (ön-kırılgan), 3–5 puan ise "Frail" (kırılgan) olarak sınıflandırılmaktadır. Frail Kırılganlık Ölçeği'nin yaşlı bireylerde kırılganlık taramasında geçerli bir araç olduğu literatürde belirtilmiştir (Kojima G., 2018).

3.5.3. Berg Denge Ölçeği (BDÖ)

Katılımcıların denge durumlarını değerlendirmek için Berg Denge Ölçeği'nin Türkçe versiyonu kullanıldı. Ölçek 14 maddeden oluşmakta ve her madde 0–4 puan arasında değerlendirilmektedir. Yüksek puan daha iyi dengeyi ifade etmektedir. Literatürde 0–20 puan yüksek düşme riski, 21–40 puan orta düzey düşme riski, 41–56 puan ise düşük düşme riski olarak kabul edilmiştir (Elliott, 1997). Bu çalışmada tüm maddeler katılımcılara standart prosedürlere uygun biçimde uygulandı.



Şekil 3.2. Berg Denge Ölçeği ile statik denge performansının değerlendirilmesi



Şekil 3.3. Berg Denge Ölçeği ile dinamik denge performansının değerlendirilmesi

3.5.4. 360° Dönme Testi

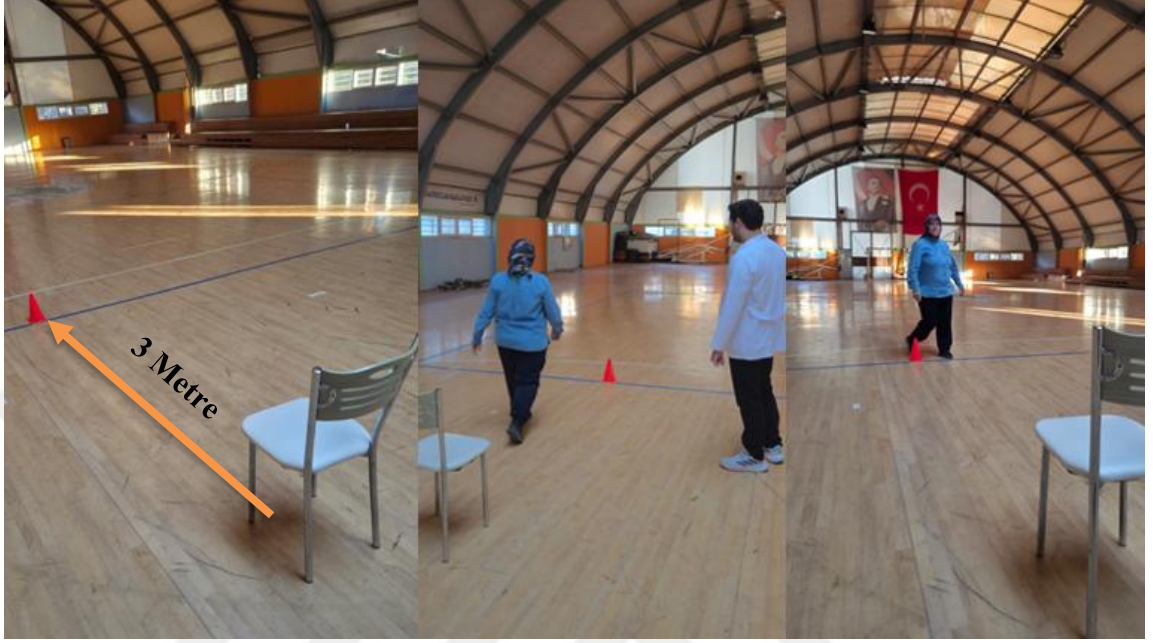
Katılımcıların denge ve motor becerilerini değerlendirmek amacıyla 360° Dönme Testi uygulandı. Katılımcılar başlangıç pozisyonunda ayakta durdu ve “Başla” komutu ile kendi eksenleri etrafında 360° dönmeleri istendi. Dönüş tamamlandığında süre kaydedildi. Test her iki yönde üçer tekrar yapıldı ve ortalama süre kullanıldı. Tekrarlar arasında 60 saniye dinlenme verildi. Gill ve arkadaşlarının çalışmasında 70 yaş üzerindeki bireylerde dönüş süresinin uzamasının bağımlılık düzeyi ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Gill ve ark., 1995).



Şekil 3.4. 360 Derece Dönme Testi ile postüral kontrol ve fonksiyonel mobilite düzeyinin değerlendirilmesi

3.5.5. Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT)

Katılımcıların dinamik denge ve düşme risklerini değerlendirmek için Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT) uygulandı. Katılımcılardan sandalyede oturur pozisyondan “Başla” komutu ile kalkması, 3 metre yürüyüp işaretli dubanın etrafından dönerek başlangıç noktasına geri dönmesi ve tekrar sandalyeye oturması istendi. Test üç tekrar yapıldı ve ortalama süre kaydedildi. Tekrarlar arasında 60 saniye dinlenme süresi verildi. ZKYT’nin tamamlanma süresinin $\geq 13,5$ saniye olması toplumda yaşayan 65 yaş ve üzeri bireylerde artmış düşme riski ile ilişkilendirilmiştir (Barry ve ark., 2014).



Şekil 3.5. Zamanlı Kalk Yürü Testi ile denge ve mobilitenin değerlendirilmesi

3.5.6. Kavrama Kuvvetinin Değerlendirilmesi

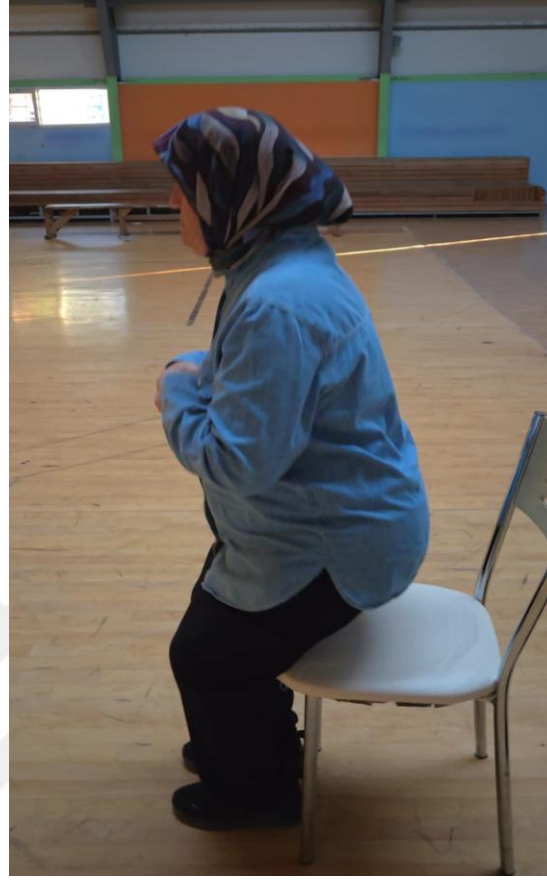
Üst ekstremité kas kuvveti JAMAR® El Dinamometresi (Patterson Medical, Warrenville, IL, ABD) ile ölçüldü. Katılımcılar oturur pozisyonda, dirsek 90° fleksiyonda ve el bileği nötral pozisyonda konumlandırıldı. Dominant el için ölçüm 3 defa tekrarlandı ve her tekrardan sonra kısa dinlenme süresi verildi. Ortalama değer analizlerde kullanıldı. Avrupa Sarkopeni Çalışma Grubu'nun (EWGSOP2) önerilerine göre kavrama kuvvetinin erkeklerde <27 kg, kadınlarda <16 kg olması düşük kas kuvveti göstergesi olarak kabul edilmektedir (Cruz-Jentoft A. J. ve ark., 2019b). JAMAR® el dinamometresinin yaşlı bireylerde kas kuvvetini değerlendirmede geçerli ve güvenilir bir araç olduğu literatürde gösterilmiştir (Massy-Westropp ve ark., 2011; Tomás ve ark., 2012).



Şekil 3.6. JAMAR El Dinamometresi ile kavrama kuvvetinin ölçülmesi

3.5.7. 5 Defa Otur-Kalk Testi

Alt ekstremité kuvveti ve fonksiyonel mobilite 5 Defa Otur-Kalk Testi ile değerlendirildi. Katılımcılar sırtları sandalyeye yaslı ve kollar göğüs üzerinde çaprazlanmış pozisyonda başlatıldı. “Başla” komutu ile birlikte beş kez aralıksız olarak oturup kalkmaları istendi. İlk kalkışla birlikte zamanlayıcı başlatıldı ve beşinci oturuşla sonlandırıldı. Test üç tekrar olarak uygulandı ve ortalama süre analizlerde kullanıldı. Her tekrardan sonra 60 saniye dinlenme süresi verildi. Beş Defa Otur–Kalk Testi’nde, test süresinin ≥ 15 saniye olması 65 yaş ve üzeri bireylerde artmış düşme riski ve fonksiyonel yetersizlik ile ilişkilendirilmiştir (Buatois ve ark., 2008). Testin yaşlı bireylerde alt ekstremité fonksiyonunu değerlendirmede yaygın olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Bohannon, 2006; Muñoz-Bermejo ve ark., 2021).



Şekil 3.7. 5 Defa Otur Kalk Testi ile alt ekstremité kuvvetinin değérlendirilmesi

3.5.8. Fiziksel Aktivite Düzeyinin Değérlendirilmesi (IPAQ-SF)

Katılımcıların fiziksel aktivite düzeyi Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi – Kısa Form (IPAQ-SF) ile değérlendirildi. Anket, bireylerin son 7 gündeki şiddetli, orta şiddette aktivitelerini, yürüyüş sürelerini ve oturma sürelerini sorgulamaktadır (Kurth ve ark., 2020). Veriler, IPAQ protokolüne göre MET-dk/hafta cinsine dönüştürüldü. IPAQ-SF'in Türkçe geçerlik ve güvenilirlik çalışmasının yapılmış olduğu gösterilmiştir (Gür, 2021).

3.5.9. Yaşam Kalitesinin Değérlendirilmesi (WHOQOL-OLD)

Katılımcıların yaşam kalitesi WHOQOL-OLD ölçeği ile değérlendirildi. Ölçek, yaşlı bireyler için geliştirilmiş 24 maddelik ve altı alt boyuttan oluşan bir ölçektir: Duyusal İşlevler, Özerklik, Geçmiş–Bugün–Gelecek Faaliyetleri, Sosyal Katılım, Ölüm ve Ölmek, Yakınlık. Her madde 5'li Likert ölçeği ile değérlendirildi. Alt boyut puanları 4–20 arasında hesaplandı; puan arttıkça yaşam kalitesinin arttığı kabul edildi. WHOQOL-OLD ölçeğinin yaşlı popülasyonunda geçerli ve güvenilir olduğu literatürde gösterilmiştir (Eser ve ark., 2010).

3.5.10. Bilişsel Fonksiyonun Değerlendirilmesi (MoCA)

Katılımcıların bilişsel işlevleri Montreal Bilişsel Değerlendirme (MoCA) testi ile değerlendirildi. Test; dikkat, bellek, yürütücü işlevler, görsel-uzaysal beceriler, dil, soyutlama ve yönelim gibi bilişsel alanları kapsamaktadır. Literatürde toplam puanın 26'nın altında olması bilişsel etkilenme olarak kabul edilmektedir (Wong ve ark., 2015). MoCA'nın hafif bilişsel bozuklukları belirlemede duyarlı olduğu literatürde bildirilmiştir (Pereiro ve ark., 2017). Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Kaya ve ark. tarafından yapılmıştır (Kaya ve ark., 2014).

3.5.11. Düşme Etkinliği Ölçeği Uluslararası (FES-I)

Katılımcıların düşme korkusu düzeyi Uluslararası Düşme Etkinliği Ölçeği (FES-I) ile değerlendirildi. Ölçek 16 maddeden oluşmakta ve her madde 1–4 puan arasında puanlanmaktadır. Toplam puan 16–64 aralığında hesaplanmaktadır; yüksek puan daha yüksek düşme korkusunu ifade etmektedir (Figueiredo ve ark., 2017; McGarrigle ve ark., 2023). Literatürde FES-I'nin yaşlı bireylerde düşme ile ilişkili aktiviteleri değerlendirmede güvenilir bir araç olduğu gösterilmiştir (Ulus ve ark., 2012).

3.6. İstatistiksel Analiz

3.6.1. Verilerin Analizi

Veriler SPSS 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) ile analiz edildi. Normal dağılım Shapiro–Wilk testi ve çarpıklık/basıklık değerleri ile değerlendirildi. Dağılım normal ise $\text{ort} \pm \text{SS}$, değilse medyan (ÇAA) kullanıldı. Test–tekrar test güvenirliliği ICC (3,1) *absolute agreement* yöntemiyle hesaplandı.

Klinik değişkenlerle sensör parametreleri arasındaki ilişkiler Pearson veya Spearman korelasyonu ile incelendi. Spearman korelasyon katsayılarının yorumlanmasında korelasyon gücü; 0.00–0.19 çok zayıf, 0.20–0.39 zayıf, 0.40–0.59 orta, 0.60–0.79 kuvvetli ve ≥ 0.80 çok kuvvetli olarak sınıflandırılmıştır (Mukaka, 2012). Bütün testlerde istatistiksel anlamlılık değeri $p < 0.05$ olarak kabul edildi.

3.6.2. Güvenirlik Analizi

Ölçümlerin güvenirlilik düzeyi, intraclass korelasyon katsayısı (ICC) ile değerlendirildi. Elde edilen bulgular Bland-Altman grafikleriyle görselleştirildi.

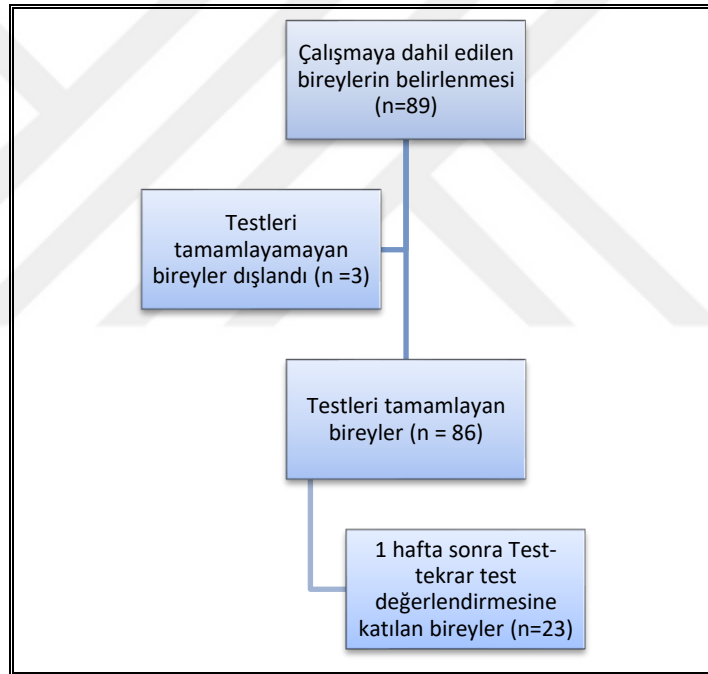
Sonuçların yorumlanmasında Koo ve Li (2016) tarafından önerilen sınıflama kullanıldı. Bu sınıflamaya göre ICC <0.50 zayıf, $0.50-0.75$ orta, $0.75-0.90$ iyi ve ≥ 0.90 mükemmel güvenilirlik düzeyini ifade etmektedir (Koo ve ark., 2016).



4. BULGULAR

4.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Bu çalışmada, kartopu örnekleme yöntemi kullanılarak belirlenen evde yaşayan 89 katılımcı değerlendirmeye alındı. Test uygulaması sırasında denge kaybı nedeniyle testi güvenli şekilde sürdüremeyen ve aşırı rotasyon sergileyen üç katılımcı testi tamamlayamadığı için çalışmaya dâhil edilmedi, testi tamamlayan 86 katılımcı ile analizler gerçekleştirildi. Test-tekrar test değerlendirmesi ise 23 katılımcı ile tamamlandı. Deneyimler sırasında uygulamalar, fizyoterapist gözetiminde yürütüldü. Çalışmanın akışına ilişkin bilgiler Şekil 4.1’de akış diyagramında verildi.



Şekil 4.1. Çalışmanın akış diyagramı

Çalışmaya dahil edilen n=86 katılımcının yaş ortalaması 70.3 ± 4.7 yıl olarak belirlendi ve yaşları 65 ile 80 yıl arasında değişti. Boy ortalaması 163.6 ± 10.2 cm, vücut ağırlığı ortalaması ise 73.7 ± 11.7 kg olarak kaydedildi. Beden Kütle İndeksi (BKİ) ortalaması 27.52 ± 3.61 kg/m² olarak bulundu. Bilişsel durumu değerlendiren MoCA skoru ortalaması 26.7 ± 0.7 olarak saptandı. Kategorik değişkenlere bakıldığında, katılımcıların 52'si (%60.5) kadın ve 34'ü (%39.5) erkekti. Dominant taraf olarak 80 birey (%93.0) sağ, 6 birey (%7.0) ise sol tarafı kullandı. Düşme öyküsü olan katılımcı sayısı 71 (%82.6), olmayan katılımcı sayısı ise 15 (%17) olarak gözlemlendi. Kırılganlık durumuna göre, 60 katılımcı (%69.8) "Non-frail" (kırılgan olmayan), 26 katılımcı (%30.2) "Pre-frail" (ön-

kırılğan) kategorisinde yer aldı. Katılımcıların demografik özellikleri Tablo 4.1’de verildi (Tablo 4.1)

Tablo 4.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

<u>Değişken (n=86)</u>	<u>Ortalama (SS)</u>	<u>Min–Max</u>
Yaş (yıl)	70.3 (4.7)	65–80
Boy (cm)	163.6 (10.2)	140–187
Kilo (kg)	73.7 (11.7)	45–105
BKİ (kg/m ²)	27.52 (3.61)	19.40–38.27
MoCA Skoru	26.7 (0.7)	26–28
<u>Cinsiyet</u>	<u>n</u>	<u>%</u>
Kadın	52	60.5
Erkek	34	39.5
<u>Dominant Taraf</u>		
Sağ	80	93.0
Sol	6	7.0
<u>Düşme Öyküsü</u>		
Var	71	82.6
Yok	15	17
<u>Kırılğanlık</u>		
Non-frail	60	69.8
Pre- frail	26	30.2
Frail	0	0

SS: Standart sapma, **BKİ**: Beden Kitle İndeksi, **MoCA**: Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği, **cm**: santimetre, **kg**: kilogram. Kırılğanlık durumu, ölçek puanlarına göre kırılğan olmayan (non-frail), ön-kırılğan (pre-frail) ve kırılğan (frail) olarak sınıflandırılmıştır.

4.2. Kinect ile Modernize Edilmiş Fukuda Adımlama Testi Metriklerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

Test süresi ortalaması 236.92 ± 39.28 saniye olarak belirlendi. Anterior-posterior yer değiştirme ortalaması -72.88 ± 29.85 cm, lateral yer değiştirme ortalaması ise -6.06 ± 30.31 cm olarak kaydedildi. Total planar yer değiştirme ortalaması 80.52 ± 29.28 cm olarak bulundu. Gövde fleksiyon değişimi ortalaması $4.10 \pm 5.21^\circ$ iken, gövde lateral fleksiyon değişimi ortalaması $-9.79 \pm 7.67^\circ$ olarak saptandı. Üst gövde rotasyon değişimi ortalaması $83.54 \pm 7.40^\circ$ ve tam gövde rotasyon değişimi ortalaması $83.73 \pm 14.12^\circ$ olarak tespit edildi. Baş fleksiyon/ekstansiyon değişimi ortalaması $2.60 \pm 10.22^\circ$ ve baş aksiyal rotasyon değişimi ortalaması $-45.09 \pm 71.84^\circ$ olarak belirlendi. Baş lateral fleksiyon değişimi ortalaması $3.25 \pm 13.67^\circ$ olarak bulundu. Son olarak, baş medio-lateral yer değiştirmesi ortalaması -5.41 ± 29.50 cm, baş superior-inferior yer değiştirmesi

ortalaması -5.47 ± 5.96 cm ve baş anterior-posterior yer değiştirmesi ortalaması -74.77 ± 29.07 cm olarak kaydedildi (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Kinect ile modernize edilmiş FAT metriklerinin tanımlayıcı istatistikleri

Değişken	Test (n = 86)		Tekrar-test (n = 23)	
	Ortalama (SS)	Min–Max	Ortalama (SS)	Min–Max
Test süresi (s)	236.92 (39.28)	174.00–329.00	216.60 (32.48)	164.36 (28.90)
Anterior–posterior (AP) yer değiştirme (cm)	–72.88 (29.85)	–143.70– –7.10	–66.69 (23.57)	–107.00– –19.80
Medial–Lateral (ML) yer değiştirme (cm)	–6.06 (30.31)	–68.20–62.30	1.10 (24.77)	–75.40–41.50
Total planar yer değiştirme (cm)	80.52 (29.28)	17.20–144.30	72.80 (23.53)	22.43–109.60
Gövde fleksiyon değişimi (°)	4.10 (5.21)	–5.97–16.14	2.57 (3.42)	–4.96–10.39
Gövde lateral fleksiyon değişimi (°)	–9.79 (7.67)	–30.29–9.71	–13.60 (8.59)	–28.37–14.12
Üst gövde rotasyon değişimi (°)	83.54 (7.40)	63.95–101.94	88.03 (17.64)	72.01–144.71
Tam gövde rotasyon değişimi (°)	83.73 (14.12)	52.00–111.54	83.71 (23.18)	12.94–144.38
Baş fleksiyon/ekstansiyon değişimi (°)	2.60 (10.22)	–21.39–27.91	1.83 (10.90)	–23.38–18.78
Baş aksiyal rotasyon değişimi (°)	–45.09 (71.84)	–193.85– 134.94	–31.49 (102.40)	–183.86–162.53
Baş lateral fleksiyon değişimi (°)	3.25 (13.67)	–23.82–36.02	3.60 (15.96)	–23.33–37.19
Baş medio-lateral (ML) yer değiştirmesi (cm)	–5.41 (29.50)	–69.21–56.57	1.90 (25.88)	–80.48–43.79
Baş superior-inferior (SI) yer değiştirmesi (cm)	–5.47 (5.96)	–21.15–7.08	–2.64 (4.10)	–9.43–6.00
Baş anterior- posterior (AP) yer değiştirmesi (cm)	–74.77 (29.07)	–148.07– –6.40	–68.28 (22.74)	–108.39– –25.58

SS: Standart sapma, AP: Anterior–posterior, ML: Medial–lateral, SI: Superior–inferior , cm: santimetre, (°): derece. Açısal değişimler derece (°), yer değiştirme parametreleri santimetre (cm) cinsinden ifade edilmiştir.

4.3 Kinect ile modernize edilmiş Fukuda Adımlama Testi’ne ait test–tekrar test güvenilirliği sonuçları

Kinect ile modernize edilmiş FAT metriklerinin test-tekrar test güvenilirliği incelendi. Korelasyon analizleri ve güvenilirlik katsayıları (ICC) sonuçlarına göre, test süresi ($r = 0.65$, $p < 0.001$; $ICC = 0.65$, 95% GA [0.33, 0.83], $p < 0.001$), anterior-posterior yer değiştirme ($r = 0.67$, $p < 0.001$; $ICC = 0.63$, 95% GA [0.30, 0.82], $p < 0.001$), total planar

yer değiştirme ($r = 0.62$, $p < 0.001$; $ICC = 0.58$, 95% GA [0.23, 0.80], $p = 0.001$), baş lateral fleksiyon değişimi ($r = 0.70$, $p < 0.001$; $ICC = 0.68$, 95% GA [0.38, 0.85], $p < 0.001$) ve baş anterior-posterior yer değiştirmesi ($r = 0.63$, $p < 0.001$; $ICC = 0.60$, 95% güven aralığı (GA) [0.25, 0.81], $p = 0.001$) parametrelerinde hem korelasyon katsayısı hem de ICC değerleri istatistiksel olarak anlamlı bulundu (Tablo 4.3). Koo ve Li sınıflamasına göre bu beş metrik orta düzeyde güvenirlik tespit edildi (ICC: 0.50-0.75) (Koo ve ark., 2016).

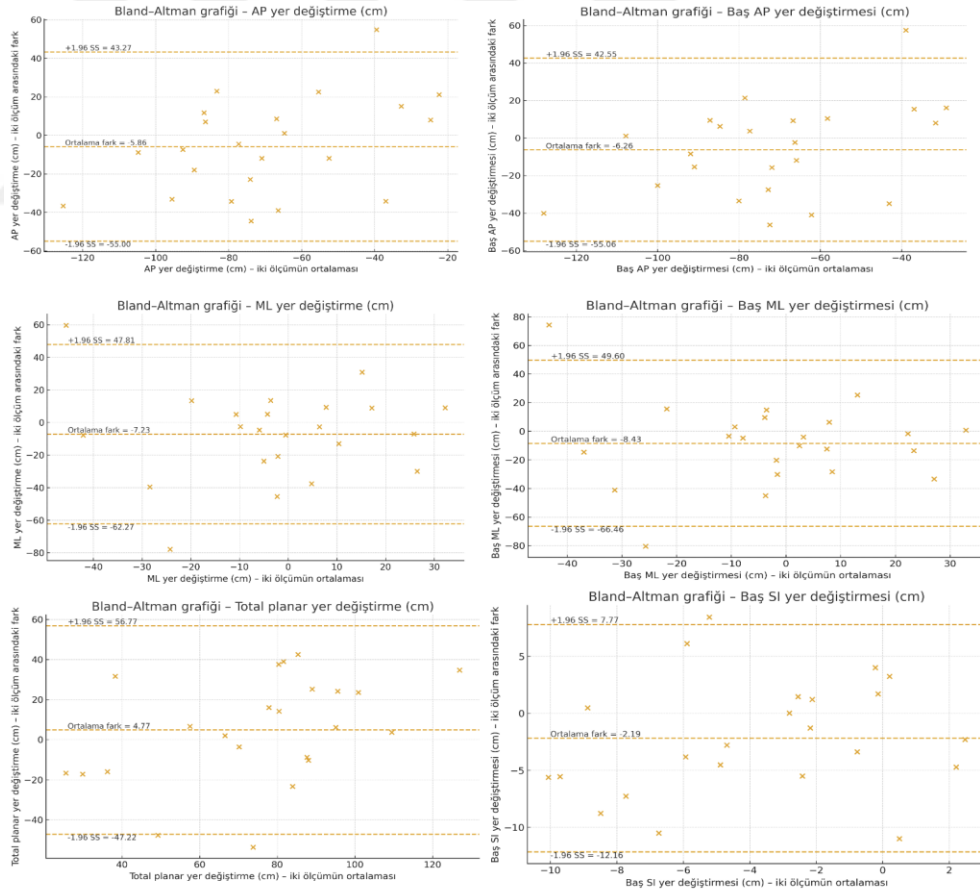
Tablo 4.3. Kinect ile modernize edilmiş FAT test-tekrar test güvenirliğinin sonuçları

Parametre (n = 23)	Korelasyon Testi		ICC (3,1)	95% Güven Aralığı	p	Gözlenen G (1- β)
	r	p				
Test süresi (s)	0.65 ^{a**}	< 0.001	0.65	0.33 – 0.83	< 0.001 ^{**}	0.96
AP yer değiştirme (cm)	0.67 ^{a**}	< 0.001	0.63	0.30 – 0.82	< 0.001 ^{**}	0.98
ML yer değiştirme (cm)	0.35 ^a	0.10	0.35	–0.07 – 0.66	0.04 [*]	0.37
Total planar yer değiştirme (cm)	0.62 ^{a*}	< 0.001	0.58	0.23 – 0.80	0.001 ^{**}	0.93
Gövde fleksiyon değişimi (°)	0.47 ^{a*}	0.03	0.46	0.07 – 0.73	0.01 [*]	0.64
Gövde lateral fleksiyon değişimi (°)	0.03 ^b	0.89	–0.20	–0.56 – 0.23	0.82	0.05
st gövde rotasyon değişimi (°)	–0.03 ^b	0.88	0.01	–0.40 – 0.41	0.48	0.05
Tam gövde rotasyon değişimi (°)	0.30 ^b	0.17	0.47	0.08 – 0.73	0.01 [*]	0.28
Baş fleksiyon/ekstansiyon değişimi (°)	0.19 ^b	0.38	0.29	–0.13 – 0.62	0.09	0.14
Baş aksiyal rotasyon değişimi (°)	0.31 ^a	0.15	0.35	–0.06 – 0.66	0.04 [*]	0.30
Baş lateral fleksiyon değişimi (°)	0.70 ^{a**}	< 0.001	0.68	0.38 – 0.85	< 0.001 ^{**}	0.99
Baş ML yer değiştirmesi (cm)	0.39 ^b	0.07	0.29	–0.13 – 0.62	0.08	0.46
Baş SI yer değiştirmesi (cm)	0.38 ^a	0.07	0.38	–0.03 – 0.68	0.04 [*]	0.44
Baş AP yer değiştirmesi (cm)	0.63 ^{a*}	< 0.001	0.60	0.25 – 0.81	0.001 ^{**}	0.94

ICC (3,1): Intraclass Correlation Coefficient, iki yönlü rastgele etkiler modeli, tek ölüm güvenirliği
GA: Güven aralığı **r:** Korelasyon katsayısı **p:** Anlamlılık düzeyi, **1- β :** Gözlenen istatistiksel güç, **AP:** Anterior–posterior, **ML:** Medial–lateral, **SI:** Superior–inferior, **cm:** Santimetre, **°:** Derece, **s:** saniye

4.4 Bland–Altman Yer Değiştirme Metriklerinin Yorumu

Bland–Altman analizleri incelendiğinde, gövde ve başa ait anterior–posterior (AP), medial–lateral (ML), superior–inferior (SI) ve total planar yer değiştirme ölçümlerinin büyük çoğunluğunun %95 uyum sınırları içerisinde yer aldığı görülmektedir. Ortalama farkların tüm parametrelerde sıfıra yakın olması, test ve tekrar test ölçümleri arasında belirgin bir sistematik sapma bulunmadığını göstermektedir. Özellikle AP ve total planar yer değiştirme metriklerinde ölçüm farklarının dar bir aralıkta dağıldığı, ML doğrultusunda ise bireyler arası varyasyonun daha geniş olduğu ancak farkların uyum sınırları dışına taşmadığı gözlenmiştir. Baş segmentine ait SI yer değiştirme ölçümlerinde düşük ortalama fark ve sınırlı dağılım, Kinect sensörünün dikey ekseninde stabil ölçümler sağlayabildiğini göstermektedir. Bu bulgular, Kinect ile modernize edilen FAT'ın yer değiştirme metrikleri açısından test–tekrar test uyumunun kabul edilebilir düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. (Şekil 4.2).

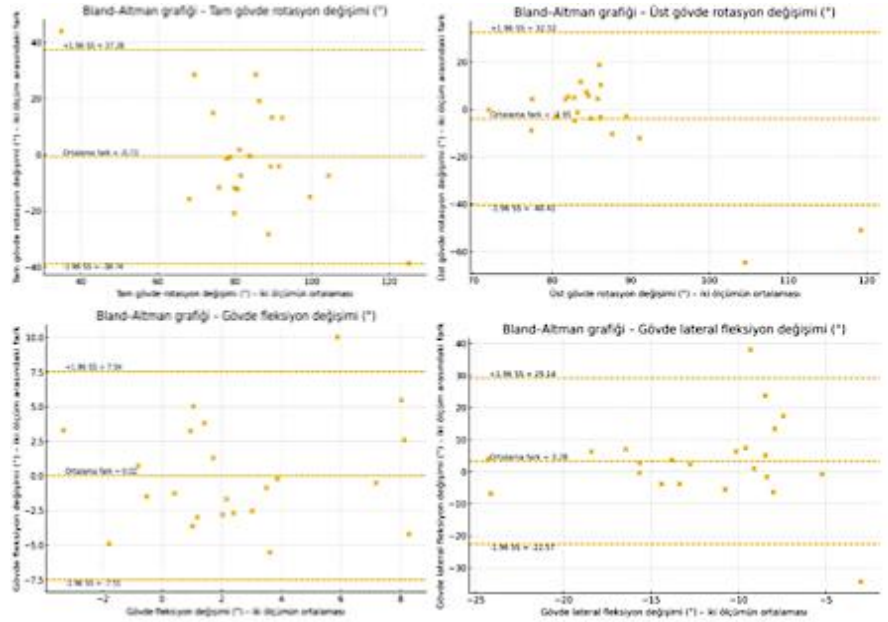


Şekil 4.2. Kinect ile modernize edilen FAT'da gövde ve baş yer değiştirme metriklerine (AP, ML, SI ve total planar) ilişkin test–tekrar test Bland–Altman grafikleri.

NOT: Kesikli çizgiler ortalama farkı (bias) ve %95 uyum sınırlarını göstermektedir.

Gövde segmentine ait açısal değişimlere ilişkin Bland–Altman analizleri incelendiğinde, tam gövde rotasyon ve üst gövde rotasyon değişimlerinde ölçümlerin büyük çoğunluğunun %95 uyum sınırları içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bu parametrelerde ortalama farkların sıfıra yakın olması, test–tekrar test ölçümleri arasında belirgin bir sistematik sapma bulunmadığını göstermektedir. Ancak üst gövde rotasyon değişiminde bazı bireylerde daha geniş fark değerleri gözlenmiş olup, bu durum yaşlı bireylerde gövde rotasyon stratejilerinin bireyler arasında değişkenlik gösterebileceğini düşündürmektedir.

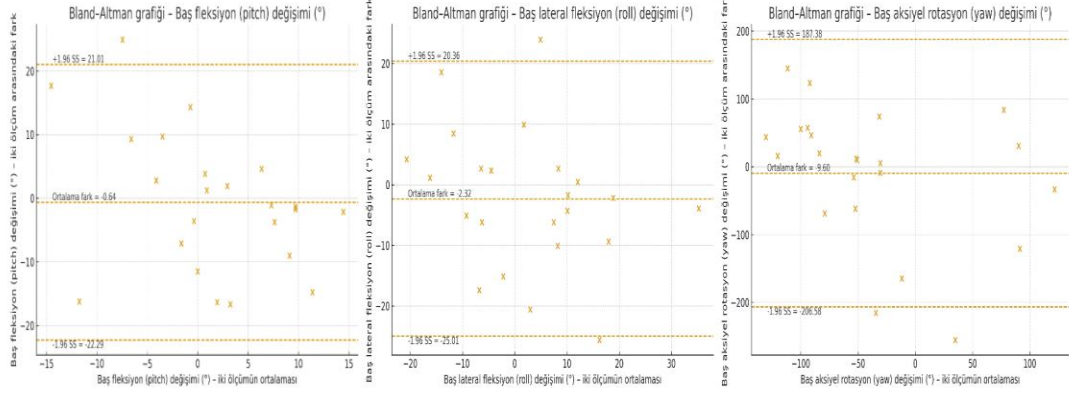
Gövde fleksiyon değişimi grafiğinde ölçümlerin uyum sınırları içinde dağıldığı, ortalama farkın düşük olduğu ve ölçüm büyüklüğü arttıkça farkların sistematik olarak artmadığı izlenmektedir. Buna karşılık, gövde lateral fleksiyon değişiminde ölçümler genel olarak uyum sınırları içerisinde kalsa da farkların özellikle belirli değer aralıklarında kümelenme eğilimi gösterdiği dikkati çekmektedir. Bu bulgu, lateral düzlemdeki gövde kontrolünün yaşlı bireylerde daha değişken olabileceğini ve bu düzlemin postüral kontrol açısından daha hassas bir bileşen olduğunu düşündürmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kinect ile modernize edilen FAT’da gövde açısal değişimlerine (tam gövde rotasyonu, üst gövde rotasyonu, fleksiyon ve lateral fleksiyon) ilişkin test–tekrar test Bland–Altman grafikleri.

NOT: Kesikli çizgiler ortalama farkı (bias) ve %95 uyum sınırlarını göstermektedir.

Baş segmentine ait açısal değişimlerin test–tekrar test uyumu Bland–Altman analizi ile değerlendirilmiş olup, ölçümlerin büyük çoğunluğunun %95 uyum sınırları içerisinde yer aldığı ve belirgin bir sistematik sapma göstermediği gözlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kinect ile modernize edilen FAT’da baş açısal değişimlerine (fleksiyon, lateral fleksiyon ve aksiyel rotasyon) ilişkin test–tekrar test Bland–Altman grafikleri.

NOT: Kesikli çizgiler ortalama farkı (bias) ve %95 uyum sınırlarını göstermektedir.

ICC analizleri ile elde edilen güvenilirlik bulgularını desteklemek amacıyla, Kinect ile modernize edilmiş FAT’a ait yer değiştirme ve açısal değişim parametreleri Bland–Altman yöntemi ile değerlendirildi. Bland–Altman analizlerinde, ölçümlerin büyük çoğunluğunun %95 uyum sınırları içerisinde yer aldığı ve ortalama farkların düşük olduğu gözlemlendi. Ölçüm büyüklüğü ile ölçümler arasındaki farklar arasında belirgin bir eğilim izlenmemesi, sistematik bir ölçüm hatasının bulunmadığını göstermektedir.

4.5 Klinik değerlendirme testlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Katılımcıların denge, fonksiyonel mobilite ve düşme korkusuna ilişkin klinik değerlendirme sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.4’te sunuldu. Bulgular, örneklemin genel olarak iyi düzeyde denge performansına sahip olduğunu, ancak düşme korkusunun büyük oranda orta düzeyde yoğunlaştığını göstermektedir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Klinik değerlendirmelere ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Ortalama (SS)	Min – Max
360° DT süresi (s)	2.99 (0.55)	1.97 – 4.67
ZKYT süresi (s)	10.55 (1.93)	6.43 – 15.40
BDÖ Skoru	52.20 (2.6)	45 – 56
FES-I Skoru	23.20 (4.03)	15 – 34
FES-I kategori	n	%
Düşük korku	15	17.40
Orta düzey korku	58	67.40
Yüksek korku	13	15.01

SS: Standart sapma; **360° DT**: 360° Dönme Testi; **ZKYT**: Zamanlı Kalk Yürü Testi; **BDÖ**: Berg Denge Ölçeği; **FES-I**: Düşme Etkinliği Ölçeği Uluslararası.

4.6. Kinect ile modernize edilen Fukuda Adımlama Testi parametreleri ile klinik değerlendirme testleri arasındaki ilişkiler

Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile klinik değerlendirme testleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, bazı kinematik değişkenlerin denge ve fonksiyonel mobilite ile zayıf düzeyde anlamlı ilişkiler gösterdiği görüldü (Tablo 4.5). Özellikle medial–lateral (ML) yer değiştirme ile Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT) arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki saptandı ($r = 0.23$, $p = 0.04$). Benzer şekilde ML yer değiştirme ile Düşme Etkinliği Ölçeği–Uluslararası (FES-I) skorları arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişki bulundu ($r = 0.28$, $p = 0.01$).

Berg Denge Ölçeği (BDÖ) skorları ile FAT'ın test süresi arasında sınırda anlamlı bir ilişki gözlenirken ($r = 0.21$, $p = 0.05$), BDÖ ile gövde fleksiyon değişimi arasında zayıf düzeyde negatif yönlü anlamlı bir ilişki belirlendi ($r = -0.24$, $p = 0.03$). Ayrıca üst gövde rotasyon değişimi ile ZKYT arasında zayıf düzeyde negatif yönlü anlamlı ilişki saptandı ($r = -0.30$, $p < 0.001$). Buna karşılık anterior–posterior yer değiştirme, total planar yer değiştirme ve başın aksiyal ve lateral açısal değişimlerinin büyük çoğunluğunun klinik testlerle istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermediği belirlendi ($p > 0.05$) (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile klinik değerlendirme testleri arasındaki ilişkiler

FAT parametresi	360° DT	ZKYT	BDÖ	FES-I
Test süresi (s)	-0.08 (0.48) ^b	0.12 (0.27) ^b	0.21 (0.05) ^b	-0.02 (0.86) ^b
AP yer değiştirme (cm)	0.04 (0.75) ^a	0.06 (0.56) ^b	-0.12 (0.26) ^b	0.03 (0.80) ^a
ML yer değiştirme (cm)	0.14 (0.21) ^a	0.23 (0.04) ^b	-0.16 (0.15) ^b	0.28 (0.01) ^a
Total planar yer değiştirme (cm)	-0.04 (0.71) ^b	-0.06 (0.58) ^b	0.10 (0.35) ^b	-0.01 (0.97) ^b
Gövde fleksiyon değişimi (°)	-0.07 (0.54) ^a	-0.04 (0.74) ^b	-0.24 (0.03) ^b	0.05 (0.68) ^a
Gövde lateral fleksiyon değişimi (°)	0.22 (0.05) ^b	-0.01 (0.95) ^b	0.02 (0.83) ^b	-0.15 (0.16) ^b
Üst gövde rotasyon değişimi (°)	-0.08 (0.46) ^a	-0.30 (0.00) ^b	0.09 (0.39) ^b	-0.20 (0.06) ^a
Tam gövde rotasyon değişimi (°)	-0.11 (0.33) ^a	0.12 (0.27) ^b	0.01 (0.92) ^b	0.01 (0.91) ^a
Baş fleksiyon değişimi (°)	-0.04 (0.73) ^a	-0.02 (0.83) ^b	-0.06 (0.56) ^b	-0.20 (0.07) ^a
Baş aksiyal rotasyon değişimi (°)	-0.08 (0.47) ^b	-0.17 (0.11) ^b	0.16 (0.14) ^b	-0.18 (0.09) ^b
Baş lateral fleksiyon değişimi (°)	-0.03 (0.80) ^a	0.14 (0.20) ^b	-0.02 (0.83) ^b	0.13 (0.23) ^a
Baş ML yer değiştirmesi (cm)	0.14 (0.21) ^a	0.22 (0.05) ^b	-0.15 (0.17) ^b	0.22 (0.04) ^a
Baş SI yer değiştirmesi (cm)	0.11 (0.32) ^a	0.04 (0.74) ^b	-0.01 (0.96) ^b	0.00 (1.00) ^a
Baş AP yer değiştirmesi (cm)	0.04 (0.74) ^a	0.07 (0.55) ^b	-0.10 (0.38) ^b	0.01 (0.90) ^a

^a: Pearson korelasyon katsayısı, ^b: Spearman korelasyon katsayısı, **SS**: Standart sapma, **360° DT**: 360° Dönme Testi, **ZKYT**: Zamanlı Kalk Yürü Testi, **BDÖ**: Berg Denge Ölçeği, **FES-I**: Düşme Etkinliği Ölçeği–Uluslararası, **cm**: santimetre, **s**: saniye, **ML**: medial-lateral, **SI**: superior-inferior, **AP**: anterior-posterior. Değerler korelasyon katsayısı (r) ve p değeri olarak sunuldu ve $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Katılımcıların kas kuvveti, alt ekstremitte fonksiyonel performansı, kırılabilirlik düzeyi ve bilişsel duruma ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.6’da sunuldu. El kavrama kuvveti ortalaması 28.76 ± 8.01 kg, beş defa otur–kalk testi süresi ortalama 11.72 ± 2.20 saniye, kırılabilirlik skoru ortalaması 0.30 ± 0.60 , MoCA bilişsel skor ortalaması ise 26.70 ± 0.7 olarak belirlendi (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Katılımcıların kas kuvveti, fonksiyonel performans, kırılgenlik ve bilişsel duruma ilişkin tanımlayıcı istatistikleri

Değişken	Ortalama (SS)	Min – Maks
El Kavrama Kuvveti (kg)	28.76 (8.01)	15.36 – 49.43
5xSTS (tekrar)	11.72 (2.20)	6.33 – 16.20
Kırılgenlik Skoru	0.30 (0.60)	0.00 – 2.00
MoCA Bilişsel Skor	26.70 (0.70)	26.00 – 28.00

SS: Standart sapma, MoCA: Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği, 5xSTS: Beş Defa Otur–Kalk Testi, kg: kilogram.

Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile kas kuvveti, fonksiyonel performans, bilişsel durum ve kırılgenlik arasındaki ilişkiler incelendiğinde, belirli parametrelerde belirli parametrelerde zayıf düzeyde istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptandı (Tablo 4.7). Gövde fleksiyon değişimi ile Montreal Bilişsel Değerlendirme (MoCA) skoru arasında zayıf düzeyde negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulundu ($r = -0.38$, $p < 0.001$). Üst gövde rotasyon değişimi ile 5 kez Otur–Kalk Testi (5xSTS) performansı arasında zayıf düzeyde negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptandı ($r = -0.30$, $p = 0.001$). Ayrıca baş mediolateral yer değiştirmesi ile 5xSTS performansı ($r = 0.22$, $p = 0.05$) ve kırılgenlik skoru ($r = 0.22$, $p = 0.04$) arasında zayıf düzeyde istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler belirlendi. Bunun dışında el kavrama kuvveti, kırılgenlik skoru ve MoCA bilişsel skoru ile FAT’a ait diğer parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmadı ($p > 0.05$) (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Kinect ile modernize edilmiş FAT parametreleri ile kas kuvveti, fonksiyonel performans, bilişsel durum ve kırılabilirlik arasındaki ilişkiler

FAT Parametresi	Kavrama	5xSTS	MoCA	Kırılabilirlik
Test süresi (s)	-0.14 (0.19) ^b	0.04 (0.72) ^b	-0.01 (0.94) ^b	-0.17 (0.12) ^b
AP yer değiştirme (cm)	-0.03 (0.78) ^b	0.06 (0.59) ^b	-0.16 (0.14) ^b	-0.09 (0.40) ^b
ML yer değiştirme (cm)	0.14 (0.21) ^b	0.07 (0.50) ^b	0.00 (0.98) ^b	0.01 (0.94) ^b
Total planar yer değiştirme (cm)	-0.04 (0.71) ^b	-0.06 (0.58) ^b	0.10 (0.35) ^b	-0.01 (0.97) ^b
Gövde fleksiyon değişimi (°)	-0.19 (0.09) ^b	-0.09 (0.43) ^b	-0.38 (<0.001) ^b	-0.10 (0.36) ^b
Gövde lateral fleksiyon (°)	0.22 (0.05) ^b	-0.01 (0.95) ^b	0.02 (0.83) ^b	-0.15 (0.16) ^b
Üst gövde rotasyonu (°)	-0.08 (0.46) ^b	-0.30 (0.00) ^b	0.09 (0.39) ^b	-0.20 (0.06) ^b
Tam gövde rotasyonu (°)	-0.11 (0.33) ^b	0.12 (0.27) ^b	0.01 (0.92) ^b	0.01 (0.91) ^b
Baş fleksiyon değişimi (°)	-0.04 (0.73) ^b	-0.02 (0.83) ^b	-0.06 (0.56) ^b	-0.20 (0.07) ^b
Baş aksiyal rotasyon (°)	-0.08 (0.47) ^b	-0.17 (0.11) ^b	0.16 (0.14) ^b	-0.18 (0.09) ^b
Baş lateral fleksiyon (°)	-0.03 (0.80) ^b	0.14 (0.20) ^b	-0.02 (0.83) ^b	0.13 (0.23) ^b
Baş ML yer değiştirme (cm)	0.14 (0.21) ^b	0.22 (0.05) ^b	-0.15 (0.17) ^b	0.22 (0.04) ^b
Baş SI yer değiştirme (cm)	0.11 (0.32) ^b	0.04 (0.74) ^b	-0.01 (0.96) ^b	0.00 (1.00) ^b
Baş AP yer değiştirme (cm)	0.04 (0.74) ^b	0.07 (0.55) ^b	-0.10 (0.38) ^b	0.01 (0.90) ^b

Kavrama: El kavrama kuvveti, **5xSTS:** Beş Defa Otur-Kalk Testi, **MoCA:** Montreal Bilişsel Değerlendirme, **ML:** Medial-Lateral; **SI:** Superior-Inferior, **AP:** Anterior-Posterior. Değerler korelasyon katsayısı (r) ve p değeri olarak sunuldu ve p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Katılımcıların fiziksel aktivite düzeylerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.8’de sunuldu (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Katılımcıların fiziksel aktivite düzeylerine (IPAQ) ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Ortalama (SS)	Min – Maks
Orta şiddetli aktivite (gün/hafta)	2.40 (2.00)	0.00 – 7.00
Orta şiddetli aktivite (saat/hafta)	0.64 (0.50)	0.00 – 2.00
Yürüme (gün/hafta)	5.20 (1.80)	0.00 – 7.00
Yürüme (saat/hafta)	0.71 (0.30)	0.00 – 1.50
Oturma süresi (saat/gün)	7.30 (1.40)	3.00 – 10.00
MET değeri (haftalık)	1373.16 (756.01)	198.00 – 3096.00
IPAQ kategorisi – Düşük aktivite	11	12.8
IPAQ kategorisi – Orta aktivite	72	83.7
IPAQ kategorisi – Yüksek aktivite	3	3.5

SS: Standart sapma, **IPAQ:** International Physical Activity Questionnaire (Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi), **MET:** Metabolik eşdeğer. Fiziksel aktivite kategorileri IPAQ kısa form sınıflamasına göre düşük, orta ve yüksek aktivite düzeyi olarak belirlendi.

Fiziksel aktivite düzeyi ile Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, belirli kinematik değişkenlerde zayıf ve orta düzeyde istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptandı (Tablo 4.9). Yürüme süresi ile gövde fleksiyon değişimi arasında orta düzeyde negatif yönlü anlamlı bir ilişki bulundu ($r = -0.46$, $p < 0.001$). Benzer şekilde, haftalık MET değeri ile gövde fleksiyon değişimi arasında da zayıf düzeyde negatif yönlü anlamlı bir ilişki saptandı ($r = -0.39$, $p < 0.001$). Ayrıca haftalık MET değeri ile tam gövde rotasyon değişimi arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki belirlendi ($r = 0.24$, $p = 0.03$). Baş fleksiyon değişimi ile yürüme süresi arasında zayıf düzeyde negatif yönlü anlamlı bir ilişki bulunurken ($r = -0.25$, $p = 0.03$), baş superior–inferior yer değiştirmesi hem yürüme süresi ($r = 0.26$, $p = 0.02$) hem de haftalık

MET değeri ($r = 0.29$, $p = 0.01$) ile zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişki gösterdi (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Kinect modernize edilen FAT parametreleri ile fiziksel aktivite düzeyi arasındaki ilişkiler

FAT Parametresi	Yürüme süresi (dk/gün)	Oturma süresi (dk/gün)	MET değeri (hafta)
Test süresi (s)	0.07 (0.52) ^b	-0.11 (0.30) ^b	0.08 (0.47) ^b
AP yer değiştirme (cm)	-0.01 (0.96) ^b	0.08 (0.49) ^b	0.07 (0.55) ^b
ML yer değiştirme (cm)	-0.12 (0.30) ^b	0.16 (0.14) ^b	0.01 (0.91) ^b
Total planar yer değ. (cm)	0.01 (0.93) ^b	-0.11 (0.33) ^b	-0.04 (0.69) ^b
Gövde fleksiyon değişimi (°)	-0.46 (0.00) ^b	0.02 (0.84) ^b	-0.39 (0.00) ^b
Gövde lateral fleksiyon değişimi (°)	-0.19 (0.09) ^b	-0.09 (0.43) ^b	-0.19 (0.08) ^b
Üst gövde rotasyon değişimi (°)	0.07 (0.54) ^b	-0.08 (0.44) ^b	-0.02 (0.87) ^b
Tam gövde rotasyon değişimi (°)	0.17 (0.14) ^b	-0.00 (0.98) ^b	0.24 (0.03) ^b
Baş fleksiyon değişimi (°)	-0.25 (0.03) ^b	0.00 (0.97) ^b	-0.15 (0.17) ^b
Baş aksiyal rotasyon değişimi (°)	0.11 (0.34) ^b	-0.10 (0.35) ^b	0.02 (0.86) ^b
Baş lateral fleksiyon değişimi (°)	-0.16 (0.16) ^b	0.14 (0.19) ^b	0.01 (0.92) ^b
Baş ML yer değiştirme (cm)	-0.12 (0.28) ^b	0.15 (0.18) ^b	0.01 (0.91) ^b
Baş SI yer değiştirme (cm)	0.26 (0.02) ^b	0.07 (0.53) ^b	0.29 (0.01) ^b
Baş AP yer değiştirme (cm)	-0.01 (0.90) ^b	0.06 (0.56) ^b	0.07 (0.50) ^b

SS: Standart sapma, MET: Metabolik Eşdeğer, dk: dakika, cm: santimetre, s: saniye.. ^b: Spearman korelasyon analizi. Değerler korelasyon katsayısı (r) ve p değeri olarak sunuldu ve $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Katılımcıların WHOQOL-OLD yaşam kalitesi ölçeği alt boyutları ve toplam skoruna ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.10’da sunuldu. En yüksek ortalama skor “Ölüm ve Ölmek” (DAD) alt boyutunda, en düşük ortalama skor ise Duyusal Yetiler (SAB) alt

boyutunda elde edildi. WHOQOL-OLD toplam skorunun ortalama değeri 75.31 ± 11.04 olarak saptandı (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Katılımcıların yaşam kalitesi (WHOQOL-OLD) alt boyutlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Ortalama (SS)	Min – Maks
SAB	65.70 (25.03)	6.25 – 100.00
PPF	75.15 (10.89)	43.75 – 100.00
AUT	77.54 (17.19)	6.25 – 100.00
SOP	72.17 (15.33)	18.75 – 100.00
DAD	86.05 (18.88)	25.00 – 100.00
INT	75.29 (16.66)	31.25 – 100.00
WHOQOL-OLD toplam skoru	75.31 (11.04)	34.38 – 94.79

SS: Standart Sapma, SAB: Duyusal Yetenekler, PPF: Otonomi, AUT: Geçmiş-Bugün-Gelecek Aktiviteleri, SOP: Sosyal Katılım, DAD: Ölüm ve Ölmek, INT: Yakınlık, WHOQOL-OLD: Dünya Sağlık Örgütü Yaşlılar İçin Yaşam Kalitesi Ölçeği.

FAT parametreleri ile yaşam kalitesi arasındaki ilişkiler incelendiğinde, gövde fleksiyon değişimi ile duyusal yetiler (SAB) ($r = -0.29$, $p = 0.01$), sosyal katılım (SOP) ($r = -0.33$, $p < 0.001$) ve WHOQOL-OLD toplam skoru ($r = -0.29$, $p = 0.01$) arasında zayıf düzeyde negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptandı. Ayrıca baş superior–inferior yer değiştirmesi ile duyusal yetiler (SAB) ($r = 0.26$, $p = 0.02$), sosyal katılım (SOP) ($r = 0.23$, $p = 0.03$) ve WHOQOL-OLD toplam skoru ($r = 0.26$, $p = 0.02$) arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler belirlendi. Bunun dışında FAT'ın diğer parametreleri ile WHOQOL-OLD alt boyutları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmadı (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile yaşam kalitesi (WHOQOL-OLD) alt boyutları arasındaki ilişkiler

Parametre	SAB	PPF	AUT	SOP	DAD	INT	WHOQOL-OLD
Test süresi (sn)	-0.07 (0.54) ^b	0.03 (0.79) ^b	-0.03 (0.79) ^b	0.12 (0.28) ^b	0.01 (0.93) ^b	0.10 (0.37) ^b	0.03 (0.81) ^b
AP yer değiştirme (cm)	0.03 (0.77) ^b	-0.09 (0.39) ^b	0.05 (0.66) ^b	0.01 (0.94) ^b	-0.04 (0.69) ^b	0.05 (0.66) ^b	0.06 (0.56) ^b
ML yer değiştirme (cm)	0.09 (0.42) ^b	-0.11 (0.32) ^b	-0.13 (0.23) ^b	0.03 (0.79) ^b	0.18 (0.10) ^b	0.18 (0.09) ^b	0.06 (0.58) ^b
Total planar yer değiştirme (cm)	-0.02 (0.88) ^b	0.07 (0.54) ^b	-0.07 (0.53) ^b	0.03 (0.80) ^b	0.05 (0.67) ^b	-0.07 (0.51) ^b	-0.05 (0.66) ^b
Gövde fleksiyon değişimi (°)	-0.29 (0.01) ^{*b}	-0.20 (0.07) ^b	0.00 (0.99) ^b	-0.33 (0.00) ^{**b}	0.01 (0.93) ^b	-0.19 (0.09) ^b	-0.29 (0.01) ^{**b}
Gövde lateral fleksiyon değişimi (°)	0.05 (0.67) ^b	0.10 (0.34) ^b	0.02 (0.86) ^b	-0.13 (0.23) ^b	0.18 (0.10) ^b	-0.21 (0.05) ^b	-0.00 (0.98) ^b
Üst gövde rotasyon değişimi (°)	-0.01 (0.92) ^b	0.16 (0.14) ^b	0.15 (0.17) ^b	0.05 (0.67) ^b	-0.00 (0.99) ^b	-0.18 (0.10) ^b	0.05 (0.63) ^b
Tam gövde rotasyon değişimi (°)	-0.01 (0.93) ^b	0.14 (0.20) ^b	0.01 (0.94) ^b	0.19 (0.08) ^b	-0.01 (0.93) ^b	0.14 (0.20) ^b	0.13 (0.25) ^b
Baş Fleksiyon/Ekstansiyon değişimi (°)	-0.01 (0.91) ^b	0.00 (0.97) ^b	0.00 (0.98) ^b	-0.11 (0.34) ^b	0.00 (0.99) ^b	0.12 (0.28) ^b	-0.02 (0.84) ^b
Baş aksiyal rotasyon değişimi (°)	0.06 (0.57) ^b	0.01 (0.95) ^b	0.07 (0.53) ^b	0.06 (0.59) ^b	-0.11 (0.32) ^b	-0.13 (0.23) ^b	0.00 (0.98) ^b
Baş lateral fleksiyon değişimi (°)	0.06 (0.57) ^b	0.11 (0.29) ^b	0.07 (0.54) ^b	-0.06 (0.61) ^b	0.00 (0.98) ^b	0.12 (0.26) ^b	-0.01 (0.92) ^b
Baş ML yer değiştirme (cm)	0.06 (0.58) ^b	-0.10 (0.36) ^b	-0.11 (0.32) ^b	0.02 (0.83) ^b	0.17 (0.11) ^b	0.16 (0.14) ^b	0.04 (0.70) ^b
Baş SI yer değiştirme (cm)	0.26 (0.02) ^{*b}	0.07 (0.55) ^b	0.11 (0.32) ^b	0.23 (0.03) ^{*b}	-0.01 (0.91) ^b	0.06 (0.56) ^b	0.26 (0.02) ^{*b}
Baş AP yer değiştirme (cm)	0.02 (0.85) ^b	-0.06 (0.55) ^b	0.04 (0.71) ^b	0.02 (0.88) ^b	-0.04 (0.69) ^b	0.06 (0.57) ^b	0.07 (0.55) ^b

SAB: Duyusal Yetiler; **PPF:** Geçmiş–Bugün–Gelecek Aktiviteleri; **AUT:** Özerklik; **SOP:** Sosyal Katılım; **DAD:** Ölüm ve Ölmek; **INT:** Yakınlık; **WHOQOL-OLD:** Dünya Sağlık Örgütü Yaşlılar İçin Yaşam Kalitesi Ölçeği. ^b: Spearman korelasyon katsayısı. Değerler korelasyon katsayısı (r) ve p değeri olarak sunuldu ve p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

5. TARTIŞMA

Klasik Fukuda Adımlama Testi, vestibüler fonksiyon ve denge asimetritlerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir test olmasına rağmen, ölçümlerin büyük ölçüde gözleme dayalı ve subjektif olması, gövde ve baş segmentlerinin hareketini ölçmemesi gibi nedenlerle literatürde güvenilirliği sorgulanmaktadır. FAT testini uygulamak için zemin işaretleri, metre, bant gibi ek materyallere ihtiyaç vardır. Çalışmamızda kullanılan derinlik sensörü ile modernize edilmiş FAT, bu sınırlılıkları aşmayı hedeflemektedir. Modernize edilmiş FAT, klinik dışı ortamlarda (örneğin oturma odasında) dahi uygulanabilir ve ölçüm için yalnızca Kinect sensörüne ihtiyaç duyar; ek materyal veya donanım gerektirmez. Katılımcıların rotasyon, yer değiştirme ile gövde ve baş segment hareketlerini objektif, sayısal ve hassas bir şekilde ölçme olanağı sunmaktadır. Bu özellik, testin geleneksel FAT'ın sınırlılıklarını aşarak daha güvenilir ve klinik açıdan uygulanabilir bir değerlendirme aracı hâline gelmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, yaşlı bireylerde derinlik sensörleri kullanılarak uygulanan FAT'ın test-tekrar test güvenilirliğini ve klinik değerlendirmelerle ilişkisini incelenmiştir. Bu çalışmanın bulguları, FAT sırasında derinlik sensörleri ile elde edilen mekânsal ve kinematik parametrelerin genel olarak orta düzeyde ve anlamlı test-tekrar test güvenilirliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle medio-lateral yer değiştirme ve gövde rotasyonu gibi parametrelerin, denge ve fonksiyonel mobilitayı değerlendiren testlerin yanı sıra kırılma riski, düşme riski, kas kuvveti ve yaşam kalitesi ile ilişkili klinik değerlendirmelerle de anlamlı ilişkiler göstermesi, FAT'ın yaşlı bireylerde postüral kontrol ve yönelim stratejilerinin yanı sıra çok boyutlu fonksiyonel durumu yansıtan duyarlı bir değerlendirme aracı olabileceğini düşündürmektedir. Literatürde FAT'ın çoğunlukla genç erişkinlerde ve subjektif ölçümlerle değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Buna karşın, testin yaşlı bireylerde objektif, sensör tabanlı parametrelerle ve kapsamlı klinik değerlendirmelerle birlikte ele alındığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.

Bu çalışma, FAT'ın yaşlı bireylerde derinlik sensörü ile objektif ölçümlerle değerlendirilmesi, güvenilirliğinin ortaya konulması ve klinik ölçütlerle ilişkilendirilmesi açısından literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmalardan biri olup, testin klinik kullanım

potansiyeline yönelik özgün ve bütüncül bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, Kinect tabanlı ölçümlerle modernize edilen FAT'ın Berg Denge Ölçeği, Zamanlı Kalk Yürü Testi, 360° Dönme Testi, kavrama kuvveti ölçümü, 5 Defa Otur–Kalk Testi, Frail Kırılabilirlik Ölçeği, Düşme Etkinliği Ölçeği , Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği, Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi ve WHOQOL-OLD yaşam kalitesi ölçeği ile birlikte değerlendirilmesi, testin yalnızca vestibüler asimetri göstergesi olmanın ötesinde, yaşlı bireylerin fonksiyonel durumunu yansıtan bütüncül bir performans testi olarak ele alınabileceğini düşündürmektedir.

Özellikle yaşlı bireylerde vestibüler sistemle birlikte proprioseptif ve nöromusküler sistemlerde meydana gelen yaşa bağlı dejeneratif değişiklikler, denge ve yönelim kontrolünü daha karmaşık hâle getirmektedir (Sturnieks D. L. ve ark., 2008b). Bu bağlamda, FAT performansının yaşlı bireylerde yalnızca vestibüler asimetriyi değil, çoklu duysal entegrasyon, postüral kontrol ve fonksiyonel mobilite bileşenlerini de yansıtabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada testin, derinlik sensörü tabanlı objektif ölçümlerle birlikte ele alınması, FAT'ın klasik vestibüler tarama yaklaşımının ötesinde, yaşlı bireylerin fonksiyonel performansını değerlendiren çok boyutlu bir değerlendirme aracı olarak yorumlanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada Kinect tabanlı olarak modernize edilmiş FAT'ın test–tekrar test güvenilirliği incelendiğinde, test süresi, lateral (ML) yer değiştirme, anteroposterior (AP) yer değiştirme, başın lateral fleksiyon değişimi ve başın anteroposterior yer değiştirmesi parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı ve orta düzeyde güvenilirlik değerleri elde edildi. Klinik performans testlerinde, özellikle dinamik denge, vestibüler entegrasyon ve çoklu duysal süreçleri içeren değerlendirmelerde ölçümlerin mutlak olarak yüksek güvenilirlik göstermesi her zaman beklenmemektedir. Koo ve Li (2016), klinik araştırmalarda 0.50–0.75 aralığındaki ICC değerlerini “orta düzey güvenilirlik” olarak sınıflandırmakta ve bu aralığı klinik kullanım açısından kabul edilebilir olarak tanımlamaktadır (Koo ve ark., 2016). Benzer şekilde, FAT'ın geleneksel ve teknoloji destekli uygulamalarını inceleyen çalışmalarda rotasyon açısı ve yer değiştirme parametreleri için düşükten orta düzeye değişen güvenilirlik değerleri rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2011; Honaker ve ark., 2012). Başka bir çalışmada, Bonanni ve

arkadaşları, vestibüler problemi olmayan 30 bireyde (23–56 yaş; ortalama 32.8 yıl) iki gün ardışık ölçümle yaptıkları çalışmada 50 adım protokolü için $ICC \approx 0.66$, 100 adım protokolü için $ICC \approx 0.52$ bildirerek 50 adımlı uygulamanın daha tutarlı sonuç verdiğini vurgulamıştır (Bonanni ve ark., 1998). 25 katılımcı üzerinde IMU kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise FAT'ın test tekrar test güvenilirliği $ICC = 0.61$ (orta düzey) raporlamıştır (Hemm ve ark., 2023). Bu açıdan, çalışmamızda elde edilen 0.58–0.68 aralığındaki ICC değerleri, sensör tabanlı ölçümlerle uygulanan FAT protokollerinde raporlanan orta düzey test–tekrar test güvenilirlik bulgularıyla tutarlılık göstermektedir. Yaşlı örneklem özelinde yapılan bir çalışmada ise Paquet ve arkadaşları, 50 yaşlı + 50 genç erişkinde iki gün test–retest tasarımında mesafe ve rotasyon ölçütleri için ICC'lerin yaşlılarda 0.25–0.77, gençlerde 0.58–0.80 aralığında değiştiğini bildirerek, her iki grupta da günler arası değişkenliğin klinik yorumda dikkate alınması gerektiğini göstermiştir (Paquet ve ark., 2017). Farklı bir çalışmada derinlik sensörü kullanılarak uygulanan ve klasik FAT'dan farklı olarak adımlama süresi ve uygulama koşulları değiştirilmiş bir yerinde adımlama protokolünde (20 saniye, gözler açık), toplulukta yaşayan yaşlı bireylerde toplam hareket mesafesi (Total Movement Distance, TMD), medio-lateral hareket mesafesi (Medio-Lateral Movement Distance, MMD) ve kranio-kaudal hareket mesafesi (Kranio-Caudal Movement Distance, KMD) gibi parametreler için oldukça yüksek test–tekrar test güvenilirlik değerleri (sırasıyla $ICC = 0.911$, 0.918 ve 0.838) bildirilmiştir. Ayrıca toplam hareket mesafesinin dikey hareket mesafesine oranını ifade eden $TMD \times KMD^{-1}$ parametresi için de yüksek güvenilirlik ($ICC = 0.940$) raporlanmıştır (Fujita ve ark., 2024). Literatür ile bu çalışma arasında gözlenen farklılıkların, büyük ölçüde araştırma protokollerindeki metodolojik çeşitlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle değerlendirme koşulları, kullanılan ölçüm teknolojileri ve örneklem özelliklerindeki farklılıklar, güvenilirlik değerlerinin değişkenlik göstermesine yol açabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmamızdan elde edilen orta düzey test–tekrar test güvenilirliği değerleri, yaşlı bireylerde sensörimotor kontrolün fizyolojik olarak daha değişken bir yapıya sahip olmasıyla tutarlılık göstermektedir.

Test–tekrar test güvenilirliğinin hem ICC hem de Bland–Altman analizleri ile birlikte değerlendirilmesi, ölçümlerin tutarlılığına ilişkin daha kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır. Orta düzey ICC değerleri, yaşlı bireylerde duyusal olarak zorlayıcı ve

dinamik bir görev sırasında bireyler arası sıralamanın korunduğunu gösterirken; Bland–Altman analizlerinde ölçümler arasındaki farkların dar uyum sınırları içerisinde yer alması, ölçümlerin klinik açıdan kabul edilebilir düzeyde tekrar edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Bu birlikte değerlendirme, Kinect ile modernize edilen FAT’ın yaşlı bireylerde güvenilir ve uygulanabilir bir değerlendirme aracı olduğunu desteklemektedir.

Ölçüm güvenilirliğinin ortaya konmasının ardından, Kinect ile modernize edilen FAT parametreleri ile klinik değerlendirmeler arasındaki ilişkiler incelendi. Bulgular, lateral (ML) yer değiştirme, gövde fleksiyon değişimi ve başın superior–inferior (SI) yer değiştirmesi parametrelerinin; denge ve mobilite performansı, düşme korkusu, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesi alanlarıyla istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler gösterdi. Bu ilişkilerin büyüklüğü incelendiğinde, saptanan korelasyonların büyük ölçüde zayıf ile orta düzey arasında değiştiği, buna karşın istatistiksel olarak anlamlı olmaları nedeniyle klinik açıdan yorumlanabilir nitelik taşıdığı görülmektedir. Literatürde, artmış lateral yer değiştirme miktarının yaşlı bireylerde postüral stabilitenin azalması ve düşme riskinin artışı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Maki, 1997; Sturnieks D. L. ve ark., 2008b). Baş ve gövde segmentlerine ait hareketlerin ise vestibüler sistem bütünlüğü, postüral kontrol stratejileri ve bilişsel süreçlerle doğrudan ilişkili olduğu; vestibüler girdilerdeki bozulmaların yalnızca denge performansını değil, aynı zamanda bilişsel işlevler ve yaşam kalitesi algısını da etkilediği gösterilmiştir (Agrawal ve ark., 2009; Bigelow ve ark., 2015). Bu bağlamda, çalışmamızda sensör tabanlı parametreler ile klinik ölçekler arasında saptanan ilişkiler, yaşlı bireylerde postüral kontrolün çok boyutlu yapısını desteklemekte ve Kinect ile modernize edilen FAT’ın klinik değerlendirmeleri tamamlayıcı ve objektif bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

FAT sırasında ölçülen ML yer değiştirme ile Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT) arasında zayıf düzeyde pozitif yönde anlamlı ilişki bulundu ($r = 0.23$, $p = 0.04$). Bu bulgu, yerinde adımlama sırasında artan lateral sapmanın fonksiyonel mobilite performansındaki azalmanın bir yansıması olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca üst gövde rotasyon değişimi ile ZKYT arasında zayıf düzeyde negatif ve anlamlı ilişki saptandı ($r = -0.30$, $p \approx 0.001$); bu durum, rotasyon stratejilerindeki değişimin mobilite performansı ile ilişkili olabileceğine işaret etmektedir.

ZKYT'nin dinamik denge, alt ekstremite kas kuvveti, yürüme hızı ve postüral kontrolü bütüncül olarak yansıtan bir test olduğu göz önüne alındığında, FAT sırasında ortaya çıkan lateral stabilite kaybının günlük yaşam mobilitesiyle doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Literatürde medio-lateral denge kontrolünün, yaşlı bireylerde düşme riski ve fonksiyonel kısıtlılık açısından özellikle kritik olduğu; lateral stabilitedeki bozulmaların ZKYT performansını olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Porter ve ark., 2015). Bu yönüyle çalışmamızın bulguları literatürle uyumludur.

Üst gövde rotasyon değişimi ile Zamanlı Kalk Yürü Testi arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunması, FAT sırasında gövde rotasyonunun daha etkin şekilde kullanılmasının, daha iyi fonksiyonel mobilite performansı ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Gövde rotasyonunun, yürüme ve adımlama sırasında enerji transferi, segmentler arası koordinasyon ve ritmik hareket organizasyonu açısından önemli bir bileşen olduğu bildirilmektedir (Winter, 2009).

Hollman ve arkadaşları, yaşlı bireylerde gövde rotasyonunun azalması veya kısıtlanmasının; daha rijit postüral stratejiler, adım uzunluğunda azalma ve yürüme verimliliğinde düşüş ile ilişkili olduğu göstermiştir (Hollman ve ark., 2011). Özellikle gövde ve pelvis rotasyonunun, yürüme sırasında etkin şekilde kullanılamaması, alt ekstremite hareketlerinin kompensatuar mekanizmalarla yürütülmesine ve fonksiyonel mobilitenin azalmasına yol açabilmektedir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, FAT'ın yalnızca yönelimsel sapmaları değil; gövde segmentleri arasındaki koordinasyonu, hareket organizasyonunu ve fonksiyonel mobiliteyle ilişkili postüral stratejileri de yansıtabilecek duyarlı bir değerlendirme aracı olabileceğini desteklemektedir. Bu durum, FAT'ın doğası gereği katılımcıların gözleri kapalı yerinde adımlama sırasında vestibüler fonksiyon ve dinamik denge performanslarını ölçmesi, testin yaşlı bireylerde dinamik denge ve mobiliteye ilişkin klinik değerlendirmelerde tamamlayıcı bir rol üstlenebileceğini düşündürmektedir.

Anson ve arkadaşları, artmış anterior gövde eğiminin denge sınırlarını daralttığı, ağırlık merkezinin öne kaymasına neden olarak dengeyi bozduğu ve düşme riskini artırdığı bildirilmektedir (Anson ve ark., 2018). Bu çalışmada ise gövde fleksiyon değişimi ve BDÖ arasında negatif ve anlamlı ilişki bulundu. Buna göre test sırasında gövde

fleksiyonundaki artışın denge skorundaki düşüşle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu durum, yaşlı bireylerde dengeyi sürdürmek amacıyla öne eğilme gibi kompensatuar postüral stratejilerin devreye girdiğini düşündürmektedir.

Literatürde düşme korkusunun yalnızca geçmiş düşme öyküsüyle değil, postüral güvensizlik algısı, denge stratejilerindeki bozulmalar ve artmış postüral salınım ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Rubenstein, 2006; Delbaere ve ark., 2009). Bu çalışmada ise, düşme korkusunu yansıtan FES-I ile ML yer değiştirme arasında zayıf düzeyde pozitif yönde anlamlı ilişki saptandı. Benzer şekilde başın ML yer değiştirmesi ile FES-I arasında da zayıf düzeyde pozitif ve anlamlı ilişki bulundu. Bu bulgular, yerinde adımlama sırasında artan lateral kontrol gereksiniminin, düşme korkusu yüksek bireylerde daha belirgin olabileceğini düşündürmektedir. Bu bağlamda, FAT sırasında ölçülen lateral yer değiştirme parametrelerinin, yaşlı bireylerde düşme korkusunu yansıtan fonksiyonel göstergeler olarak klinik açıdan anlamlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Sturnieks ve arkadaşları yaptığı çalışmada bilişsel işlevlerdeki gerilemenin, özellikle yürütücü işlevler ve dikkat bileşenleri üzerinden denge kontrolünü olumsuz etkilediği ve düşme riskini artırdığı göstermiştir (Sturnieks D. L. ve ark., 2025). Bu çalışmada ise bilişsel performansı gösteren MoCA ile gövde fleksiyon değişimi arasında negatif ve anlamlı ilişki bulundu ($r = -0.38$, $p < 0.001$). Bu sonuç, test sırasında postüral hizalanmadaki değişimlerin bilişsel süreçler (dikkat/çift görevlenme benzeri yük) ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir ve bilişsel performansı daha düşük olan yaşlı bireylerde, FAT sırasında postüral kontrolün daha fazla bozulduğunu ve gövde fleksiyonunun arttığını göstermektedir. Görsel girdinin elimine edildiği yerde adımlama gibi görevlerde dikkat, yürütücü işlevler ve sensörimotor entegrasyonun önemi artmaktadır. Bu sonuçlar, FAT performansının yalnızca periferik denge mekanizmalarını değil, bilişsel-motor etkileşimi de yansıtabileceğini desteklemektedir.

Fiziksel aktivite düzeyi ile Kinect ile modernize edilen FAT sırasında gözlenen baş ve gövde hareketleri arasındaki ilişkiler, daha aktif yaşlı bireylerde postüral kontrol ve hareket organizasyonunun farklılaştığını düşündürmektedir. Düzenli fiziksel aktivitenin kas kuvveti, proprioseptif geri bildirim ve segmentler arası koordinasyonu desteklediği; bu durumun da denge sırasında daha etkin ve kontrollü stratejilerin kullanılmasına katkı

sağlayabileceği bilinmektedir. Mevcut bulgular, fiziksel olarak daha aktif bireylerde postüral kontrol mekanizmalarının daha işlevsel olabileceğine işaret eden önceki çalışmalarla uyumludur (Howe ve ark., 2011b; Granacher ve ark., 2013). Benzer şekilde, FAT sırasında artan gövde fleksiyonunun yaşam kalitesinin özellikle duyuşal işlevler ve sosyal katılım boyutlarıyla ilişkili bulunması, postüral kontrol stratejilerindeki değişimlerin yalnızca motor performansı değil, bireyin işlevsel ve psikososyal algılarını da yansıtabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgu, postüral stabilitenin yaşlı bireylerde günlük yaşam katılımı ve genel yaşam kalitesi ile ilişkili olduğunu vurgulayan literatürle paralellik göstermektedir; yapılan sistematik incelemeler ve klinik çalışmalar, postural denge eğitimlerinin yalnızca fiziksel performansı değil aynı zamanda yaşam kalitesi ölçütlerini de olumlu etkileyebildiğini ortaya koymuştur (Xu ve ark., 2023). Bu bağlamda, çalışmamızda Kinect ile modernize edilen FAT ile elde edilen kinematik parametrelerin, yaşlı bireylerde fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesiyle ilişkili çok boyutlu bilgileri yansıtabilen potansiyel göstergeler sunduğu düşünülmektedir.

Literatürde duyuşal bütünlüğün ve postüral adaptasyonun, yaşam kalitesi ve sosyal katılım ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Lacour ve ark., 2015). Bu çalışmada ise, baş SI yer değiştirmesi ile SAB ($r = 0.26$, $p = 0.02$), SOP ($r = 0.23$, $p = 0.03$) ve WHOQOL-OLD toplam ($r = 0.26$, $p = 0.02$) arasında zayıf düzeyde pozitif ve anlamlı ilişkiler saptandı. Bu bulgular, FAT sırasında başın dikey yöndeki hareket bileşenlerinin, yaşlı bireylerin algılanan yaşam kalitesiyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Başın SI eksenindeki kontrollü hareketi; vestibüler sistem, servikal propriosepsiyon ve postüral kas aktivitesinin uyumlu çalışmasını gerektirmektedir. Yaşlı bireylerde bu eksenindeki hareketlerin korunmuş olması, duyuşal girdilerin etkin kullanımı ve postüral adaptasyon kapasitesinin devam ettiğine işaret edebilir. Bu durum, bireyin çevresel uyaranlara yanıt verme yetisi ve günlük yaşam aktivitelerine katılımı açısından olumlu bir göstergedir. Nitekim elde edilen bulgular, duyuşal işlevler ve sosyal katılım algısı daha yüksek olan bireylerde, FAT sırasında başın SI eksenindeki hareketliliğin daha belirgin olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, derinlik sensörü ile modernize edilen FAT'ın, yaşam kalitesi gibi öznel değerlendirme araçlarıyla birlikte ele alındığında, yaşlı bireylerin fonksiyonel durumuna ilişkin çok boyutlu ve tamamlayıcı klinik bilgi sağlayabileceğini desteklemektedir.

Fiziksel aktivite düzeyini yansıtan Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi (IPAQ) ölçütleri ile Kinect ile modernize edilen FAT sırasında elde edilen baş ve gövde hareketlerine ilişkin parametreler arasında anlamlı ilişkiler saptandı. Elde edilen bulgular, yaşlı bireylerde fiziksel aktivite düzeyinin postüral kontrol stratejileri ve hareket organizasyonu ile yakından ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Literatürde düzenli fiziksel aktivitenin, kas kuvveti, proprioseptif geri bildirim, postüral stabilite ve denge stratejileri üzerinde koruyucu ve geliştirici etkileri olduğu bildirilmektedir (Granacher ve ark., 2010; Howe ve ark., 2011a). Bu çerçevede bulgular, Kinect tabanlı ölçümlerle elde edilen postüral parametrelerin fiziksel aktivite düzeyiyle ilişkili olabileceğini bildiren literatürü destekler niteliktedir.

Yaşlı bireylerde düzenli fiziksel aktivitenin, alt ekstremité kas kuvveti, gövde stabilitesi ve denge stratejileri üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir (Sadaqa ve ark., 2023). Bu çalışmada ise gövde fleksiyon değişimi ile IPAQ yürüme süresi arasında orta düzeyde, negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulundu ($r = -0.46$, $p \approx 0.001$). Benzer şekilde, gövde fleksiyon değişimi ile toplam MET değeri arasında da negatif ve anlamlı ilişki saptandı ($r = -0.39$, $p \approx 0.001$). Bu bulgular, fiziksel aktivite düzeyi daha yüksek olan yaşlı bireylerde, FAT sırasında gövde fleksiyonunun daha az arttığını, dolayısıyla postüral kontrolün daha etkin bir biçimde sürdürülebildiğini düşündürmektedir. Bu bağlamda, çalışmamızda elde edilen sonuçlar, fiziksel olarak daha aktif bireylerin yerinde adımlama gibi dengeyi zorlayan görevler sırasında daha dik ve kontrollü bir postüral strateji benimsediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, tam gövde rotasyon değişimi ile IPAQ toplam MET değeri arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptandı ($r = 0.24$, $p = 0.03$). Bu bulgu ise, fiziksel aktivite düzeyi daha yüksek olan bireylerde, yerinde adımlama sırasında gövde rotasyonunun daha etkin ve akıcı bir biçimde gerçekleştiğini düşündürmektedir.

Gövde rotasyonu, yürüyüş sırasında enerji transferi ve segmentler arası koordinasyon açısından önemli bir bileşendir. Yaşlı bireylerde fiziksel inaktivite ile birlikte gövde rotasyonunun azalması, daha rijit ve kompensatuar hareket stratejilerine yol açabilmektedir. Literatürde, yaşlanma ve düşük fiziksel aktivite düzeyi ile ilişkili olarak gövde ve pelvik rotasyonun azaldığı, bunun da hareket organizasyonunda değişikliklere

neden olduğu bildirilmektedir (Cury ve ark., 2021). Bu nedenle elde edilen sonuçlar, FAT'ın, fiziksel aktivite düzeyine bağlı olarak ortaya çıkan hareket organizasyonu farklılıklarını ortaya koyabilecek duyarlı bir değerlendirme aracı olabileceğini desteklemektedir.

Fiziksel olarak aktif bireylerin, dengeyi zorlayan görevler sırasında baş ve gövde segmentleri arasındaki koordinasyonu daha etkin şekilde sağlayabildiği bilinmektedir (Papalia ve ark., 2020). Baş fleksiyon değişimi ile IPAQ yürüme süresi arasında negatif ve anlamlı bir ilişki bulundu ($r = -0.25$, $p = 0.03$). Buna ek olarak, başın SI yer değiştirmesi ile IPAQ yürüme süresi ($r = 0.26$, $p = 0.02$) ve toplam MET değeri ($r = 0.29$, $p = 0.01$) arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptandı. Bu bulgular, fiziksel aktivite düzeyi daha yüksek olan yaşlı bireylerde başın dikey eksenindeki hareketliliğinin daha korunmuş olduğunu ve vestibüler–servikal entegrasyonun daha etkin çalıştığını düşündürmektedir. Ek olarak; bu çalışmada fiziksel aktivite düzeyi ile FAT parametreleri arasında saptanan anlamlı ilişkiler, testin yaşlı bireylerde aktif yaşlanma, fonksiyonel kapasite ve postüral kontrol arasındaki etkileşimi değerlendirmede kullanılabileceğini düşündürmektedir.

Bu sonuçlar, FAT'ın yaşlı bireylerde yalnızca vestibüler asimetriyi değil, lateral stabilite kontrolü, denge güvenliği algısı ve fonksiyonel mobilite gibi çok boyutlu bileşenleri de yansıtabileceğini desteklemektedir. Özellikle medio-lateral yöndeki postüral kontrolün, yaşlanma ile birlikte azalan kalça stratejileri ve artan kompensatuar gövde hareketleriyle yakından ilişkili olduğu dikkate alındığında, elde edilen bulguların yaşlılık fizyolojisiyle uyumlu olduğu söylenebilir.

Denge ve postüral kontrol değerlendirmeleri açısından bakıldığında, postüral stabilitenin vestibüler, somatosensöriyel ve görsel girdilerin santral düzeyde entegrasyonuna dayandığı; bu entegrasyonun özellikle yaşlı bireylerde kişiden kişiye ve zamana bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği vurgulanmaktadır (Horak, 2006). Bu nedenle, gözler kapalı koşulda uygulanan ve vestibüler girdilerin baskın olduğu FAT gibi dinamik görevlerde, yaşlı bireylerde ölçümler arası değişkenliğin artması fizyolojik olarak beklenen bir durumdur. Bu bağlamda, mevcut çalışmada elde edilen orta düzey test–tekrar test güvenirlik değerleri, ölçümlerin yetersizliğinden ziyade testin yaşlı bireylerde duyuşal

entegrasyon ve postüral kontrol mekanizmalarına duyarlı olduğunu göstermekte; FAT'ın klinik değerlendirmede anlamlı ve kullanılabilir bir araç olduğunu desteklemektedir.

Literatürde yaşlanmayla birlikte özellikle dikkat, yürütücü işlevler ve çift görev gerektiren bilişsel süreçlerde performansın azaldığı; bu bilişsel değişimlerin postüral kontrol ve dinamik denge görevleri sırasında motor stratejileri etkileyebildiği bildirilmektedir (Montero-Odasso ve ark., 2018). Bu bağlamda, çalışmamızda FAT sırasında elde edilen bazı postüral ve segmental hareket parametrelerinin MoCA skorları ile ilişkili bulunması, testin yalnızca periferik vestibüler yanıtları değil, aynı zamanda bilişsel kaynakların devreye girdiği çok boyutlu bir denge görevini yansıtabildiğini düşündürmektedir. Bu bulgular, ileri yaş grubunda denge performansının değerlendirilmesinde bilişsel durumun göz ardı edilmemesi gerektiğini desteklemektedir.

Çalışmada yer alan katılımcılar, yaşlı popülasyonu temsil eden ve klinik değerlendirme açısından homojen kabul edilebilecek bir örneklemden oluşmaktadır. Örneklemin yaş ortalamasının ileri yaş grubunda yer alması, elde edilen bulguların yaşlanmaya bağlı denge, postüral kontrol ve fonksiyonel performans değişiklikleri bağlamında değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Literatürde yaştan ilerlemesiyle birlikte vestibüler fonksiyonlarda azalma, proprioseptif geri bildirimin zayıflaması ve postüral kontrol stratejilerinde değişim meydana geldiği; bu değişimlerin özellikle dinamik denge görevlerinde daha belirgin hâle geldiği bildirilmektedir (Xie ve ark., 2025). Bu bağlamda, çalışmamızda FAT sırasında gözlenen postüral ve segmental hareket değişkenliklerinin, örneklemin yaş özellikleriyle uyumlu olduğu söylenebilir.

Çalışmamızda katılımcıların büyük çoğunluğunun sağ baskın olması, literatürde yaşlı popülasyon için bildirilen baskın taraf dağılımı ile paralellik göstermektedir. Baskın taraf kavrama kuvvetinin, genel kas kuvveti ve fonksiyonel kapasitenin dolaylı bir göstergesi olarak kabul edildiği bilinmektedir. Nitekim kavrama kuvvetinin, yaşlı bireylerde denge performansı, mobilite ve düşme riski ile ilişkili olduğu önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Rantanen ve ark., 1999; Bohannon, 2008). Bu çalışmada ölçülen kavrama kuvveti değerlerinin yaşa bağlı beklenen sınırlar içerisinde yer alması, örneklemin genel fonksiyonel durumunun korunmuş olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, dinamik denge görevleri sırasında gövde ve baş hareketlerine ilişkin saptanan değişkenlik,

yalnızca kas kuvveti ile değil; duyuşsal entegrasyon ve postüral stratejilerle ilişkili çok boyutlu bir kontrol mekanizmasını yansıtmaktadır. Bu durum, FAT'ın salt kas kuvvetinden bağımsız olarak, denge kontrolüne ilişkin daha karmaşık süreçleri ortaya koyabildiğini desteklemektedir.

Katılımcıların bir kısmında düşme öyküsünün bulunması, çalışmanın klinik açıdan önemli bir özelliğidir. Literatürde, geçmişte düşme öyküsü bulunan yaşlı bireylerde denge performansının, postüral güvenlik algısının ve düşme korkusunun anlamlı düzeyde etkilendiğı bildirilmektedir (Rubenstein, 2006; Delbaere ve ark., 2010). Düşme öyküsü olan bireylerde postüral kontrol stratejilerinin, özellikle lateral stabiliteyi korumaya yönelik kompensatuar mekanizmalara kaydığı ve ayak bileğı stratejilerinin yetersiz kaldığı durumlarda kalça ve adım alma stratejilerinin daha sık kullanıldığı bildirilmiştir (Maki, 1997; Sturnieks Daina L ve ark., 2008a). Bu durum, dengeyi sağlamak amacıyla gövde ve baş segmentlerinde daha geniş ve belirgin hareketlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, çalışmamızda FAT sırasında ölçülen lateral yer değıştirme ve baş hareketlerine ilişkin parametrelerin düşme korkusu ile ilişkili bulunması, düşme öyküsü olan bireylerde postüral kontrolün daha koruyucu ve kompensatuar stratejilerle sürdürüldüğünü düşündürmektedir. Düşme öyküsünün varlığı, vestibüler ve somatosensöriyel sistemlerden gelen girdilerin güvenilirliğinin azalmasıyla ilişkili olabilir. Buna ek olarak, bu bireyler denge görevleri sırasında daha temkinli ve kompensatuar postüral kontrol stratejileri kullanma eğilimindedir (Ellmers ve ark., 2023). Bu farklılaşma, görsel girdinin ortadan kaldırıldığı ve vestibüler ağırlığın arttığı FAT gibi gözler kapalı koşullarda daha belirgin hâle gelmektedir (Horak, 2006).

Bu çalışmada katılımcıların boy, vücut ağırlığı ve BKİ değerleri, yaşlı popölasyonda sıklıkla bildirilen antropometrik özelliklerle uyumlu bir dağılım göstermektedir. Örneklemin ortalama BKİ değerinin fazla kilolu sınırına yakın olması, literatürde yaşlı bireylerde sık karşılaşılan bir durumdur. Yaşlanma ile birlikte yağsız vücut kütlelerinde azalma ve yağ dokusunda artış meydana gelmekte; bu durum BKİ'nin yükselmesine ve postüral kontrol stratejilerinin değışmesine yol açabilmektedir (Corbeil ve ark., 2001; Hue ve ark., 2007). Ayrıca, yaşla birlikte artan BKİ'nin, özellikle medio-lateral yönde postüral salınımının artışı ve gövde segmentlerinin dengeyi sağlamak amacıyla daha fazla

kompanseuar hareketler sergilemesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Caparrós-Manosalva ve ark., 2023). Bu bağlamda, çalışmamızda FAT sırasında gözlenen lateral yer değiştirme ve gövde fleksiyonuna ilişkin bulguların, katılımcıların antropometrik özellikleri ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Antropometrik özelliklerin denge performansı üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, elde edilen sonuçların yaşlı popülasyon için klinik olarak anlamlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, çalışmamızda katılımcıların kırılabilirlik durumları incelendiğinde, örneklemin büyük bölümünün non-frail ve pre-frail gruplarda yer aldığı, daha sınırlı sayıda bireyin ise frail kategorisinde bulunduğu görülmektedir. Bu dağılım, toplum temelli yaşlı popülasyonlarda bildirilen kırılabilirlik prevalansı ile uyumludur (Siriwardhana ve ark., 2018).

Sonuçta çalışmamızdan elde edilen bulgular, Microsoft Kinect derinlik sensörü kullanılarak modernize edilen FAT'ın yaşlı bireylerde denge ve postüral kontrolün değerlendirilmesinde orta düzeyde güvenilirlik sergilediğini göstermektedir. Test-tekrar test analizleri sonucunda, özellikle test süresi, anterior-posterior ve total planar yer değiştirme ile başa ait bazı kinematik parametrelerde orta düzeyde güvenilirlik katsayıları elde edilirken, tüm metrikler için tutarlı bir güvenilirlik düzeyi sağlanamamıştır. Klinik denge testleriyle ilişkiler incelendiğinde ise, modernize FAT parametreleri ile Berg Denge Ölçeği, Zamanlı Kalk Yürü Testi ve düşme korkusu arasında parametreye özgü ve seçici anlamlı ilişkiler saptanmış; ancak bu ilişkilerin tüm kinematik değişkenler için geçerli olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde, kuvvet, bilişsel durum, kırılabilirlik ve fiziksel aktivite düzeyi ile olan ilişkiler değerlendirildiğinde, bazı gövde ve baş hareketlerine ait parametrelerin bilişsel fonksiyonlar, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesinin belirli alt boyutlarıyla ilişkili olduğu, ancak bu ilişkinin genellenebilir olmadığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda modernize FAT'ın yaşlı bireylerde denge ve postüral kontrolü belirli kinematik parametreler üzerinden güvenilir ve klinik olarak anlamlı biçimde yansıtabildiğini, bu doğrultuda H1a hipotezlerinin kısmen, H1b hipotezinin ise daha sınırlı biçimde desteklendiğini ortaya koymuştur.

Bu araştırmanın güçlü yönlerinden biri, FAT'ın derinlik sensörü tabanlı olarak modernize edilmesi ve testin yalnızca geleneksel klinik gözleme dayalı çıktılarla değil, objektif ve nicel hareket parametreleri ile değerlendirilmiş olmasıdır. Bu yaklaşım, testin duyarlılığını

artırarak vestibüler asimetriyi yansıtan rotasyon ve yer değiştirme ölçümlerinin yanı sıra, postüral kontrol ve segmental kompensasyonlara ilişkin ayrıntılı bilgi elde edilmesine olanak sağlamıştır. Çalışmanın bir diğer önemli güçlü yönü, test–tekrar test güvenilirliğinin yaşlı bireylerden oluşan bir örnekleme sistematik biçimde değerlendirilmiş olmasıdır. Bununla birlikte çalışma, yaşlı popülasyona odaklanması ve klinik uygulamalarda sık kullanılan değerlendirme testleri ile birlikte ele alınması yönünden literatürdeki ilk çalışmadır. Klinik performans testlerinin doğası ve yaşlı popülasyonun biyolojik değişkenliği dikkate alındığında, bu düzeyde güvenilirlik; sensör tabanlı ölçümlerin tekrarlanabilir veri sağlayabildiğini ve testin objektifleşmesine anlamlı katkı sunduğunu düşündürmektedir. Ayrıca, çalışmada elde edilen objektif FAT parametrelerinin; fonksiyonel mobilite, denge, düşme korkusu, kırılabilirlik, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesi gibi klinik değerlendirme araçları ile anlamlı ilişkiler göstermesi, testin yalnızca vestibüler asimetriyi değil, yaşlı bireylerin çok boyutlu fonksiyonel durumunu yansıtabilen bir değerlendirme aracı olabileceğine işaret etmektedir. Özellikle lateral yer değiştirme ve gövde ile baş segmentlerine ait hareket parametrelerinin, denge performansı ve düşme ile ilişkili klinik göstergelerle ilişkili bulunması, testin düşme riski açısından potansiyel ayırt edici değer taşıdığını düşündürmektedir. Derinlik sensörü tabanlı ölçümlerin kısa sürede uygulanabilmesi, invaziv olmaması ve klinik ortamlara kolay uyarlanabilirliği, FAT’ın yaşlı bireylerde pratik ve tamamlayıcı bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilme potansiyelini desteklemektedir. Araştırma bulgularının daha geniş popülasyonlara genellenmesini etkileyebilecek bazı metodolojik kısıtlılıklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Derinlik sensörü tabanlı iskelet takibi; ortam ışığı, sensör–katılımcı mesafesi, vücut rotasyonu, giysi ve aksesuarlar, eklem noktalarının örtülmesi ve ölçümlerin tek bir sensörle gerçekleştirilmesi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bu tür dış etkenlerin, eklem konum kestiriminde hata veya zamansal gecikmeye yol açabildiği; özellikle tek bakış açısından yapılan ölçümlerde bazı hareketler için sistematik yanlılık oluşabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, mevcut çalışmanın sonuçları yorumlanırken “sensör tabanlı ölçümlerin protokol ve koşullara duyarlı olduğu” göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada klasik FAT ile doğrudan bir karşılaştırma yapılmamıştır. Bunun temel nedeni, araştırmanın amacının klasik ve modernize testleri kıyaslamak değil, modernize edilmiş FAT’ın güvenilirliğini ve klinik ilişkilerini değerlendirmek olmasıdır.

Ayrıca klasik FAT ölçümleri büyük ölçüde gözlemsel ve manuel değerlendirmeye dayandığından hassas ve sayısal veri üretmemekte, bu durum iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı ve objektif bir karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Bununla birlikte aynı testin ardışık olarak iki farklı yöntemle uygulanması öğrenme etkisine yol açabileceğinden ölçüm sonuçlarını etkileyebilecek potansiyel bir yanlılık oluşturabilmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yaşlı bireylerde derinlik sensörü kullanılarak modernize edilmiş FAT'ın test–tekrar test güvenilirliği ve klinik değerlendirmelerle ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular, Kinect tabanlı olarak modernize edilen FAT'ın bazı mekânsal ve kinematik parametrelerinde orta düzeyde test–tekrar test güvenilirliği sağladığını ve seçili parametreler üzerinden denge, fonksiyonel mobilite, düşme korkusu, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesinin belirli boyutlarıyla anlamlı ilişkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, Kinect tabanlı olarak modernize edilen FAT'ın yaşlı bireylerde denge, postüral kontrol ve fonksiyonel performansın değerlendirilmesinde klinik değerlendirmeleri tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle lateral yer değiştirme, gövde fleksiyon değişimi ve baş hareketlerine ilişkin parametrelerin fonksiyonel mobilite, düşme korkusu, bilişsel durum, fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesinin belirli boyutlarıyla ilişkili bulunması, testin yalnızca vestibüler asimetriyi değil, çok boyutlu fonksiyonel durumu yansıtmaya potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir. Sensör tabanlı, temassız ve kısa sürede uygulanabilir yapısı sayesinde modernize FAT'ın, yaşlı bireylerde erken risk belirleme, klinik izlem ve destekleyici değerlendirme süreçlerinde kullanılabilir bir yaklaşım sunduğu değerlendirilmektedir.

Bu genel değerlendirme doğrultusunda, çalışmadan elde edilen temel bulgular aşağıda maddeler hâlinde sunulmuştur:

1. Kinect ile modernize FAT'ın test–tekrar test analizleri sonucunda, test süresi, anterior–posterior yer değiştirme, total planar yer değiştirme, baş lateral fleksiyon değişimi ve baş anterior–posterior yer değiştirmesi parametrelerinde orta düzeyde güvenilirlik gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşın tüm kinematik parametreler için yüksek düzeyde güvenilirlik elde edilmemiştir.
2. Modernize FAT parametreleri ile klinik denge testleri (Berg Denge Ölçeği, Zamanlı Kalk Yürü Testi ve 360° Dönme Testi) arasındaki ilişkiler incelendiğinde, bazı parametrelerde anlamlı ilişkiler saptanırken, tüm ölçümler için tutarlı ve yaygın bir ilişki ortaya konulamamıştır.

3. Düşme korkusunu değerlendiren FES-I ile FAT parametreleri arasında seçici ve parametreye özgü ilişkiler belirlenmiş, ancak bu ilişkilerin genel bir örüntü oluşturmadığı görülmüştür.
4. Kavrama kuvveti, kırılgnlık düzeyi ve bilişsel durum ile FAT parametreleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, bilişsel fonksiyonlar ile bazı gövde ve baş hareketlerine ait parametreler arasında anlamlı ilişkiler saptanmış; kavrama kuvveti ve kırılgnlık düzeyi ile ise sınırlı ilişkiler gözlenmiştir.
5. Fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesi değerlendirmeleri incelendiğinde, bazı gövde ve baş kinematik parametrelerinin fiziksel aktivite düzeyi ve WHOQOL-OLD yaşam kalitesi ölçeğinin belirli alt boyutları ile ilişkili olduğu, ancak bu ilişkinin tüm parametreler için geçerli olmadığı belirlenmiştir.
6. Elde edilen bulgular, Kinect ile modernize edilen modernize FAT'ın yaşlı bireylerde denge ve postüral kontrolün değerlendirilmesinde tek başına bir tanı aracı olmaktan ziyade, klinik denge testlerini destekleyici ve tamamlayıcı bir değerlendirme aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Modernize edilen FAT'ın temassız, kısa sürede uygulanabilir ve objektif ölçüm sağlaması, testin klinik ve saha uygulamalarında pratik bir tarama aracı olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda testin; fizyoterapistler, geriatri hemşireleri, fiziksel tıp ve rehabilitasyon, geriatri ve nöroloji alanında çalışan hekimler ile rehabilitasyon profesyonelleri tarafından; hastane ve rehabilitasyon kliniklerinde, toplum temelli yaşlı sağlığı merkezlerinde ve gerekli teknik altyapının sağlandığı ev ortamlarında denge değerlendirmesi, düşme riski taraması ve fonksiyonel izlem amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir. Özellikle pre-frail evredeki yaşlı bireylerde ortaya çıkan minimal denge değişikliklerinin sensör tabanlı objektif ölçümlerle saptanabilmesi, bireye özgü müdahale programlarının erken dönemde planlanmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca testin temassız ve objektif yapısı, yaşlı bireylerde denge ve fonksiyonel performansın uzaktan değerlendirilmesine olanak tanıyarak tele-rehabilitasyon uygulamaları için uygun bir izlem aracı sunmaktadır.

Gelecek çalışmalarda testin daha geniş ve heterojen örneklerde değerlendirilmesi, farklı sensör sistemleriyle karşılaştırılması ve ölçüm protokollerinin standardize edilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, Kinect tabanlı modernize FAT'ın yaşlı bireylerde denge, düşme riski ve fonksiyonel performansın değerlendirilmesinde klinik testleri tamamlayıcı, pratik ve uygulanabilir bir ara olduğu dşnlmektedir.



KAYNAKÇA

- Abizanda P, Navarro JL, García-Tomás MI, López-Jiménez E, Martínez-Sánchez E, Paterna G. Validity and usefulness of hand-held dynamometry for measuring muscle strength in community-dwelling older persons. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2012; 54: 21-27.
- Adam CE, Fitzpatrick AL, Leary CS, Ilango SD, Phelan EA, Semmens EO. The impact of falls on activities of daily living in older adults: A retrospective cohort analysis. *PLoS One*. 2024; 19: e0294017.
- Agathos CP, Ramanoël S, Bécu M, Bernardin D, Habas C, Arleo A. Postural control while walking interferes with spatial learning in older adults navigating in a real environment. *Frontiers in aging neuroscience*. 2020; 12: 588653.
- Agrawal Y, Carey JP, Della Santina CC, Schubert MC, Minor LB. Disorders of balance and vestibular function in us adults: Data from the national health and nutrition examination survey, 2001-2004. *Archives of internal medicine*. 2009; 169: 938-944.
- Agrawal Y, Merfeld DM, Horak FB, Redfern MS, Manor B, Westlake KP , ve ark. Aging, vestibular function, and balance: Proceedings of a national institute on aging/national institute on deafness and other communication disorders workshop. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2020; 75: 2471-2480.
- Anson E, Ma L, Meetam T, Thompson E, Rathore R, Dean V , ve ark. Trunk motion visual feedback during walking improves dynamic balance in older adults: Assessor blinded randomized controlled trial. *Gait Posture*. 2018; 62: 342-348.
- Apeksha K, Fathima N, Gowda P, Chengappa BG, Urs BS. Balance problem in individuals with normal hearing across age groups—a behavioural study. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. 2023; 75: 330-335.
- Arshad Q, Seemungal BM. Age-related vestibular loss: Current understanding and future research directions. *Front Neurol*. 2016; 7: 231.
- Asghari M, Elali K, Toosizadeh N. The effect of age on ankle versus hip proprioceptive contribution in balance recovery: Application of vibratory stimulation for altering proprioceptive performance. *Biomedical Engineering Letters*. 2025; 15: 337-347.
- B A, Behzadipour S, Tsujita T, Komizunai S, Konno A. Markerless human motion tracking using microsoft kinect sdk and inverse kinematics. 2019.
- Barry E, Galvin R, Keogh C, Horgan F, Fahey T. Is the timed up and go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr*. 2014; 14: 14.
- Bawa A, Banitsas K, Abbod M. A review on the use of microsoft kinect for gait abnormality and postural disorder assessment. *J Healthc Eng*. 2021; 2021: 4360122.
- Beauchet O, Annweiler C, Dubost V, Allali G, Kressig RW, Bridenbaugh S , ve ark. Stops walking when talking: A predictor of falls in older adults? *Eur J Neurol*. 2009; 16: 786-795.
- Beck Jepsen D, Robinson K, Ogliari G, Montero-Odasso M, Kamkar N, Ryg J , ve ark. Predicting falls in older adults: An umbrella review of instruments assessing gait, balance, and functional mobility. *BMC Geriatr*. 2022; 22: 615.
- Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *J Vestib Res*. 2015; 25: 73-89.
- Birleşmiş Milletler B. (2023). *World social report 2023: Leaving no one behind in an ageing world*. Retrieved from New York: <https://www.un.org/development/desa/dspd/world-social-report/2023>

- Bloom DE, Canning D, Fink G. Implications of population ageing for economic growth. *Daedalus*. 2015; 144: 63-76.
- Bohannon RW. Reference values for the five-repetition sit-to-stand test: A descriptive meta-analysis of data from elders. *Percept Mot Skills*. 2006; 103: 215-222.
- Bohannon RW. Hand-grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults. *J Geriatr Phys Ther*. 2008; 31: 3-10.
- Bonanni M, Newton R. Test-retest reliability of the fukuda stepping test. *Physiother Res Int*. 1998; 3: 58-68.
- Bowling ANN, Gabriel Z. Lay theories of quality of life in older age. *Ageing and Society*. 2007; 27: 827-848.
- Buatois S, Miljkovic D, Manckoundia P, Gueguen R, Miget P, Vançon G , ve ark. Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community-living subjects aged 65 and older. *J Am Geriatr Soc*. 2008; 56: 1575-1577.
- Callisaya ML, Blizzard L, Schmidt MD, McGinley JL, Srikanth VK. Ageing and gait variability—a population-based study of older people. *Age and ageing*. 2010; 39: 191-197.
- Caparrós-Manosalva C, Marzuca-Nassr GN, Muñoz-Mendoza CL, Espinoza-Araneda J, Bravo-Carrasco V, Muñoz J , ve ark. Postural balance and body mass index in older adults; a descriptive and associative study testing traditional risk factors. *Rev Med Chil*. 2023; 151: 813-822.
- Carty CP, Barrett RS, Cronin NJ, Lichtwark GA, Mills PM. Lower limb muscle weakness predicts use of a multiple-versus single-step strategy to recover from forward loss of balance in older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2012; 67: 1246-1252.
- Cesari M, Prince M, Thiyagarajan JA, De Carvalho IA, Bernabei R, Chan P , ve ark. Frailty: An emerging public health priority. *J Am Med Dir Assoc*. 2016; 17: 188-192.
- Cesari M, Sadana R, Sumi Y, Amuthavalli Thiyagarajan J, Banerjee A. (2022). What is intrinsic capacity and why should nutrition be included in the vitality domain? In (Vol. 77, pp. 91-93): Oxford University Press US.
- Chanpimol S, Seamon B, Hernandez H, Harris-Love M, Blackman MR. Using xbox kinect motion capture technology to improve clinical rehabilitation outcomes for balance and cardiovascular health in an individual with chronic tbi. *Arch Physiother*. 2017; 7.
- Chaudhary S, Saywell N, Taylor D. The differentiation of self-motion from external motion is a prerequisite for postural control: A narrative review of visual-vestibular interaction. *Front Hum Neurosci*. 2022; 16: 697739.
- Clark DJ, Fielding RA. Neuromuscular contributions to age-related weakness. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2012a; 67: 41-47.
- Clark RA, Pua Y-H, Fortin K, Ritchie C, Webster KE, Denehy L , ve ark. Validity of the microsoft kinect for assessment of postural control. *Gait & posture*. 2012b; 36: 372-377.
- Cohen HS. A review on screening tests for vestibular disorders. *J Neurophysiol*. 2019; 122: 81-92.
- Corbeil P, Simoneau M, Rancourt D, Tremblay A, Teasdale N. Increased risk for falling associated with obesity: Mathematical modeling of postural control. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2001; 9: 126-136.
- Courtin E, Knapp M. Social isolation, loneliness and health in old age: A scoping review. *Health Soc Care Community*. 2017; 25: 799-812.
- Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyere O, Cederholm T , ve ark. Sarcopenia: Revised european consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 2019a; 48: 16-31.
- Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T , ve ark. Sarcopenia: Revised european consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019b; 48: 16-31.

- Cullen KE. Vestibular processing during natural self-motion: Implications for perception and action. *Nature Reviews Neuroscience*. 2019; 20: 346-363.
- Curcio CA. Antecedents of soft drusen, the specific deposits of age-related macular degeneration, in the biology of human macula. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2018; 59: AMD182-AMD194.
- Cury AC, Pinto RZ, Madaleno FO, Resende RA. Do older adults present altered pelvic and trunk movement pattern during gait? A systematic review with meta-analysis and grade recommendations. *Braz J Phys Ther*. 2021; 25: 484-499.
- Das K, de Paula Oliveira T, Newell J. Comparison of markerless and marker-based motion capture systems using 95% functional limits of agreement in a linear mixed-effects modelling framework. *Scientific Reports*. 2023; 13: 22880.
- Dehbandi B, Barachant A, Smeragliuolo AH, Long JD, Bumanlag SJ, He V , ve ark. Using data from the microsoft kinect 2 to determine postural stability in healthy subjects: A feasibility trial. *PLOS ONE*. 2017; 12: e0170890.
- Delbaere K, Close JC, Mikolaizak AS, Sachdev PS, Brodaty H, Lord SR. The falls efficacy scale international (fes-i). A comprehensive longitudinal validation study. *Age Ageing*. 2010; 39: 210-216.
- Delbaere K, Sturnieks DL, Crombez G, Lord SR. Concern about falls elicits changes in gait parameters in conditions of postural threat in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009; 64: 237-242.
- Dünya Sağlık Örgütü. International classification of functioning, disability and health (icf). 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2001.
- Dünya Sağlık Örgütü. (2021). *Ageing and health*. Retrieved from Geneva: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Dünya Sağlık Örgütü. (2022). *Falls*. Retrieved from Geneva: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- Elliott J. The clinical uses of the berg balance scale. *Physiotherapy*. 1997; 83: 363.
- Ellmers TJ, Wilson MR, Kal EC, Young WR. The perceived control model of falling: Developing a unified framework to understand and assess maladaptive fear of falling. *Age Ageing*. 2023; 52.
- Eser S, Saatli G, Eser E, Baydur H, Fıdaner C. Yaşlılar için dünya sağlık örgütü yaşam kalitesi modülü whoqol-old: Türkiye alan çalışması türkçe sürüm geçerlilik ve güvenilirlik sonuçları. *Türk Psikiyatri Dergisi*. 2010; 21.
- Faity G, Mottet D, Froger J. Validity and reliability of kinect v2 for quantifying upper body kinematics during seated reaching. *Sensors (Basel)*. 2022; 22.
- Fang M, Huang H, Yang J, Zhang S, Wu Y, Huang C-C. Changes in microstructural similarity of hippocampal subfield circuits in pathological cognitive aging. *Brain Structure and Function*. 2024; 229: 311-321.
- FAPTA AS-CPP, Woollacott MH, Rachwani J, Santamaria V. Motor control: Translating research into clinical practice. 2023.
- Figueiredo D, Santos S. Cross-cultural validation of the falls efficacy scale-international (fes-i) in portuguese community-dwelling older adults. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2017; 68: 168-173.
- Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J , ve ark. Frailty in older adults: Evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001; 56: M146-156.
- Fujita E, Takeshima N, Sato H, Kohama T, Kusunoki M, Oba Y , ve ark. Test-retest reliability of movement displacement during a 20-s stepping-in-place test in community-dwelling older adults with and without supportive care. *Gerontology*. 2024; 70: 970-977.

- Gal N, Andrei D, Nemeş DI, Nădăşan E, Stoicu-Tivadar V. A kinect based intelligent e-rehabilitation system in physical therapy. *Stud Health Technol Inform.* 2015; 210: 489-493.
- García BR, Víctor ME, López-Jiménez E, Ballesteros CG, Córcoles RA, Pretel FA , ve ark. Limits of stability and falls during a multicomponent exercise program in faller older adults: A retrospective cohort study. *Experimental gerontology.* 2022; 169: 111957.
- Gill TM, Williams CS, Tinetti ME. Assessing risk for the onset of functional dependence among older adults: The role of physical performance. *Journal of the American Geriatrics Society.* 1995; 43: 603-609.
- Gómez-Campos R, Vidal-Espinoza R, Vega-Novoa S, Silva Ramos de Lázari M, Urzua-Alul L, Portugal MR , ve ark. Functional fitness and fall risk in older adults practitioners or non-practitioners of tai chi. *Eur J Transl Myol.* 2023; 33.
- Granacher U, Gollhofer A, Hortobágyi T, Kressig RW, Muehlbauer T. The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: A systematic review. *Sports Med.* 2013; 43: 627-641.
- Granacher U, Gollhofer A, Kriemler S. Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport.* 2010; 81: 245-251.
- Guo X, Arsiwala LT, Dong Y, Mihailovic A, Ramulu PY, Sharrett AR , ve ark. Visual function, physical function, and activities of daily living in two aging communities. *Translational vision science & technology.* 2021; 10: 15-15.
- Gür F. Fiziksel aktivite ölçeği-2'nin türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi.* 2021; 12: 252-263.
- Harada T, Miyai I, Suzuki M, Kubota K. Gait capacity affects cortical activation patterns related to speed control in the elderly. *Experimental brain research.* 2009; 193: 445-454.
- Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82: 1050-1056.
- Heinrich S, Rapp K, Rissmann U, Becker C, König H-H. Cost of falls in old age: A systematic review. *Osteoporosis international.* 2010; 21: 891-902.
- Hemm S, Baumann D, Duarte da Costa V, Tarnutzer AA. Test-re-test reliability and dynamics of the fukuda-unterberger stepping test. *Front Neurol.* 2023; 14: 1128760.
- Hollman JH, McDade EM, Petersen RC. Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait Posture.* 2011; 34: 111-118.
- Holt-Lunstad J. Loneliness and social isolation as risk factors: The power of social connection in prevention. *Am J Lifestyle Med.* 2021; 15: 567-573.
- Holtzer R, Ross D, O'Brien C, Izzetoglu M, Wagshul ME. Cognitive reserve moderates the efficiency of prefrontal cortex activation patterns of gait in older adults. *The Journals of Gerontology: Series A.* 2022; 77: 1836-1844.
- Homem TS, Guimarães FS, Soares MS, Kasuki L, Gadelha MR, Lopes AJ. Balance control and peripheral muscle function in aging: A comparison between individuals with acromegaly and healthy subjects. *Journal of Aging and Physical Activity.* 2017; 25: 218-227.
- Honaker JA, Boismier TE, Shepard NP, Shepard NT. Fukuda stepping test: Sensitivity and specificity. *J Am Acad Audiol.* 2009; 20: 311-314; quiz 335.
- Honaker JA, Shepard NT. Performance of fukuda stepping test as a function of the severity of caloric weakness in chronic dizzy patients. *J Am Acad Audiol.* 2012; 23: 616-622.
- 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: ii7-ii11.
- Howe TE, Rochester L, Neil F, Skelton DA, Ballinger C. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011a; 2011: Cd004963.

- Howe TE, Rochester L, Neil F, Skelton DA, Ballinger C. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2011b.
- Hu P, Jiang Z, Ma S, Cheng R, Tsai T-Y, Wang H. Sarcopenia in older adults is associated with static postural control, fear of falling and fall risk: A study of romberg test. *Gait & Posture*. 2024; 112: 147-153.
- Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P , ve ark. Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture*. 2007; 26: 32-38.
- Hunter SK, Pereira HM, Keenan KG. The aging neuromuscular system and motor performance. *Journal of applied physiology*. 2016.
- Jahn K. The aging vestibular system: Dizziness and imbalance in the elderly. *Adv Otorhinolaryngol*. 2019; 82: 143-149.
- Jeyasingh-Jacob J, Crook-Rumsey M, Shah H, Joseph T, Abulikemu S, Daniels S , ve ark. Markerless motion capture to quantify functional performance in neurodegeneration: Systematic review. *JMIR Aging*. 2024; 7: e52582.
- Kaya Y, Aki OE, Can UA, Derle E, Kibaroglu S, Barak A. Validation of montreal cognitive assessment and discriminant power of montreal cognitive assessment subtests in patients with mild cognitive impairment and alzheimer dementia in turkish population. *J Geriatr Psychiatry Neurol*. 2014; 27: 103-109.
- Kim M, Choi S, Yun DH, Soh Y, Won CW. Prevalence and fall risk of sarcopenia based on the 2023 korean working group on sarcopenia criteria. *Medicina*. 2025; 61: 1065.
- Kirkwood TB. Understanding the odd science of aging. *Cell*. 2005; 120: 437-447.
- Kojima G. Frailty defined by frail scale as a predictor of mortality: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2018; 19 6: 480-483.
- Kojima S, Usui N, Uehata A, Hisadome H, Inatsu A, Tsuchiya T , ve ark. Relationships between frailty and exercise capacity in patients undergoing hemodialysis: A cross-sectional study. *Geriatrics & gerontology international*. 2023; 23: 795-802.
- Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*. 2016; 15: 155-163.
- Kurth J, Klenosky D. Validity evidence for a daily, online-delivered, adapted version of the international physical activity questionnaire short form (ipaq-sf). *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2020; 25.
- Lacour M, Bernard-Demanze L. Interaction between vestibular compensation mechanisms and vestibular rehabilitation therapy: 10 recommendations for optimal functional recovery. *Frontiers in neurology*. 2015; 5: 285.
- Laidig D, Jocham AJ, Guggenberger B, Adammer K, Fischer M, Seel T. Calibration-free gait assessment by foot-worn inertial sensors. *Frontiers in Digital Health*. 2021; Volume 3 - 2021.
- Lee S-C. Relationship of visual dependence to age, balance, attention, and vertigo. *Journal of physical therapy science*. 2017; 29: 1318-1322.
- Leigh RJ, Zee DS. The neurology of eye movements. Oxford University Press; 2015.
- Liang H, Yue Z, Liu Y, Yan Z, Wang B, Xiang N , ve ark. Association between mild cognitive impairment and falls among chinese older adults: The mediating roles of balance capacity and depressive symptoms. *Injury prevention*. 2023; 29: 173-179.
- Liu XT, Nikkhoo M, Wang L, Chen CP, Chen HB, Chen CJ , ve ark. Feasibility of a kinect-based system in assessing physical function of the elderly for home-based care. *BMC Geriatr*. 2023; 23: 495.

- Lyu Q, Guan CX, Kong LN, Zhu JL. Prevalence and risk factors of cognitive frailty in community-dwelling older adults with diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Diabetic Medicine*. 2023; 40: e14935.
- Ma M, Proffitt R, Skubic M. Validation of a kinect v2 based rehabilitation game. *PLoS One*. 2018; 13: e0202338.
- MacKay S, Ebert P, Harbidge C, Hogan DB. Fear of falling in older adults: A scoping review of recent literature. *Can Geriatr J*. 2021; 24: 379-394.
- Maki BE. Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc*. 1997; 45: 313-320.
- Mancini M, Horak FB. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2010a; 46: 239.
- Mancini M, Horak FB. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2010b; 46: 239-248.
- Mansfield A, Wong JS, McIlroy WE, Biasin L, Brunton K, Bayley M, et al. Do measures of reactive balance control predict falls in people with stroke returning to the community? *Physiotherapy*. 2015; 101: 373-380.
- Massy-Westropp NM, Gill TK, Taylor AW, Bohannon RW, Hill CL. Hand grip strength: Age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Res Notes*. 2011; 4: 127.
- McGarrigle L, Yang Y, Lasrado R, Gittins M, Todd C. A systematic review and meta-analysis of the measurement properties of concerns-about-falling instruments in older people and people at increased risk of falls. *Age and ageing*. 2023; 52: afad055.
- Meadmore K, Dror IE. The psychology of ageing: An introduction. 4th edition by ian stuart-hamilton. *Age and Ageing*. 2007; 36: 601-601.
- Melzer I, Oddsson LI. Altered characteristics of balance control in obese older adults. *Obesity research & clinical practice*. 2016; 10: 151-158.
- Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005; 60: 1546-1552.
- Mille M-L, Johnson-Hilliard M, Martinez KM, Zhang Y, Edwards BJ, Rogers MW. One step, two steps, three steps more... directional vulnerability to falls in community-dwelling older people. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2013; 68: 1540-1548.
- Montero-Odasso M, Muir SW, Speechley M. Dual-task complexity affects gait in people with mild cognitive impairment: The interplay between gait variability, dual tasking, and risk of falls. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93: 293-299.
- Montero-Odasso M, Speechley M. Falls in cognitively impaired older adults: Implications for risk assessment and prevention. *J Am Geriatr Soc*. 2018; 66: 367-375.
- Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM. Muscle weakness and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2004; 52: 1121-1129.
- Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J*. 2012; 24: 69-71.
- Muñoz-Bermejo L, Adsuar JC, Mendoza-Muñoz M, Barrios-Fernández S, Garcia-Gordillo MA, Pérez-Gómez J, et al. Test-retest reliability of five times sit to stand test (ftsst) in adults: A systematic review and meta-analysis. *Biology (Basel)*. 2021; 10.
- Nader MM, Cosarderelioglu C, Miao E, Whitson H, Xue Q-L, Grodstein F, et al. Navigating and diagnosing cognitive frailty in research and clinical domains. *Nature aging*. 2023; 3: 1325-1333.

- Nyabenda A, Briart C, Deggouj N, Gersdorff M. A normative study of the vestibulospinal and rotational tests. *Advances in Physiotherapy*. 2004; 6: 122-129.
- Ohshima Y. Development of marker-based motion capture using rgb cameras: A neural network approach for spherical marker detection. *Sensors*. 2025; 25: 5228.
- Otte K, Kayser B, Mansow-Model S, Verrel J, Paul F, Brandt AU , ve ark. Accuracy and reliability of the kinect version 2 for clinical measurement of motor function. *PLoS One*. 2016; 11: e0166532.
- Papalia GF, Papalia R, Diaz Balzani LA, Torre G, Zampogna B, Vasta S , ve ark. (2020). The effects of physical exercise on balance and prevention of falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(8), 2595. Retrieved from doi:10.3390/jcm9082595
- Paquet N, Jehu DA, Lajoie Y. Impact of the number of steps on the fukuda stepping test in older adults. *Physical & Occupational Therapy In Geriatrics*. 2016; 34: 104-111.
- Paquet N, Jehu DA, Lajoie Y. Age-related differences in fukuda stepping and babinski-weil tests, within-day variability and test–retest reliability. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2017; 29: 223-230.
- Park S-Y, Yeo S-S, Kang T-W, Koo D-K. Investigating the influence of varying surface conditions on human postural control and sensory integration strategies. *Bioengineering*. 2024; 11: 618.
- Patel M, Nilsson MH, Rehncrona S, Tjernström F, Magnusson M, Johansson R , ve ark. Strategic alterations of posture are delayed in parkinson's disease patients during deep brain stimulation. *Scientific Reports*. 2021; 11: 23550.
- Paterson DH, Warburton DE. Physical activity and functional limitations in older adults: A systematic review related to canada's physical activity guidelines. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2010; 7: 38.
- Peeters G, Feeney J, Carey D, Kennelly S, Kenny RA. Fear of falling: A manifestation of executive dysfunction? *Int J Geriatr Psychiatry*. 2019; 34: 1275-1282.
- Pereira C, Gomes BP, da Silva Honorato A, Scherer FC, Pelegrinelli ARM, Smith EC , ve ark. Influence of cognitive function on postural control in physically independent older women: A time and time-frequency domain analysis. 2025.
- Pereiro A, Ramos-Lema S, Lojo-Seoane C, Guàrdia-Olmos J, Facal-Mayo D, Juncos-Rabadán O. Normative data for the montreal cognitive assessment (moca) in a spanish sample of community-dweller adults. *European geriatric medicine*. 2017; 8: 240-244.
- Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*. 2002; 88: 1097-1118.
- Peterka RJ. Sensory integration for human balance control. *Handbook of clinical neurology*. 2018; 159: 27-42.
- Peterka RJ, Murchison CF, Parrington L, Fino PC, King LA. Implementation of a central sensorimotor integration test for characterization of human balance control during stance. *Frontiers in neurology*. 2018; 9: 1045.
- Phillips LH, Lawrie L, Schaefer A, Tan CY, Yong MH. The effects of adult ageing and culture on the tower of london task. *Frontiers in Psychology*. 2021; 12: 631458.
- Porter S, Nantel J. Older adults prioritize postural stability in the anterior-posterior direction to regain balance following volitional lateral step. *Gait Posture*. 2015; 41: 666-669.
- Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological reviews*. 2012.
- Rantanen T, Guralnik JM, Foley D, Masaki K, Leveille S, Curb JD , ve ark. Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *Jama*. 1999; 281: 558-560.

- Reymen I, Put L. Feasibility and effectiveness of a balance therapy camp for children with developmental coordination disorder (dcd)-a pilot study. 2023.
- Rogers MW, Creath RA, Gray V, Abarro J, McCombe Waller S, Beamer BA , ve ark. Comparison of lateral perturbation-induced step training and hip muscle strengthening exercise on balance and falls in community-dwelling older adults: A blinded randomized controlled trial. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2021; 76: e194-e202.
- Rogers MW, Mille ML. Timing paradox of stepping and falls in ageing: Not so quick and quick(er) on the trigger. *J Physiol*. 2016; 594: 4537-4547.
- Rubenstein LZ. Falls in older people: Epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and ageing*. 2006; 35: ii37-ii41.
- Sá GGM, Santos A. Functional independence of elderly patients who fell: A follow-up study. *Rev Bras Enferm*. 2019; 72: 1715-1722.
- Sadaqa M, Németh Z, Makai A, Prémusz V, Hock M. Effectiveness of exercise interventions on fall prevention in ambulatory community-dwelling older adults: A systematic review with narrative synthesis. *Front Public Health*. 2023; 11: 1209319.
- Sarvari M, Shanbehzadeh S, Shavehei Y, ShahAli S. Postural control among older adults with fear of falling and chronic low back pain. *BMC Geriatr*. 2024; 24: 862.
- Scheffer AC, Schuurmans MJ, van Dijk N, van der Hooft T, de Rooij SE. Fear of falling: Measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age Ageing*. 2008; 37: 19-24.
- Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the somatosensory system: A translational perspective. *Physical therapy*. 2007; 87: 193-207.
- Shimada H, Doi T, Tsutsumimoto K, Makino K, Harada K, Tomida K , ve ark. Predictive validity of different walking measures to identify the incident long-term care needs in older adults. *The Journal of nutrition, health and aging*. 2023; 27: 759-766.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: Translating research into clinical practice. Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control, 5e. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer bu; 2017.
- Siriwardhana DD, Hardoon S, Rait G, Weerasinghe MC, Walters KR. Prevalence of frailty and prefrailty among community-dwelling older adults in low-income and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2018; 8: e018195.
- Springer S, Yogev Seligmann G. Validity of the kinect for gait assessment: A focused review. *Sensors (Basel)*. 2016; 16: 194.
- Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M , ve ark. Gait speed and survival in older adults. *Jama*. 2011; 305: 50-58.
- Sturnieks DL, Chan LL, Cerda MTE, Arbona CH, Pinilla BH, Martinez PS , ve ark. Cognitive functioning and falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Arch Gerontol Geriatr*. 2025; 128: 105638.
- Sturnieks DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2008a; 38: 467-478.
- Sturnieks DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*. 2008b; 38: 467-478.
- Tang L, Rasudin NSB, Dong Y, Yusuf A. Determinants of intrinsic capacity among older adults in low-and middle-income countries: A scoping review. *Belitung Nursing Journal*. 2025; 11: 661.

- Teipel SJ, Amaefule CO, Lüdtkke S, Görß D, Faraza S, Bruhn S , ve ark. Prediction of disorientation by accelerometric and gait features in young and older adults navigating in a virtually enriched environment. *Frontiers in Psychology*. 2022; 13: 882446.
- Tinetti ME. Preventing falls in elderly persons. *New England journal of medicine*. 2003; 348: 42-49.
- Tomás MT, Fernandes B. Força de preensão–análise de concordância entre dois dinamómetros: Jamar vs e-link. *Saúde & tecnologia*. 2012: 39-43.
- Türkiye İstatistik Kurumu T.). İstatistiklerle yaşlılar, 2023. TÜİK Kurumsal. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Yaslilar-2023-53710>. 2023.
- Türkiye İstatistik Kurumu T. (2024). *Nüfus projeksiyonları, 2023–2075*. Retrieved from Ankara: <https://data.tuik.gov.tr>
- Ulus Y, Durmus D, Akyol Y, Terzi Y, Bilgici A, Kuru O. Reliability and validity of the turkish version of the falls efficacy scale international (fes-i) in community-dwelling older persons. *Arch Gerontol Geriatr*. 2012; 54: 429-433.
- van Loon LJ, Goodpaster BH. Increased intramuscular lipid storage in the insulin-resistant and endurance-trained state. *Pflügers Archiv*. 2006; 451: 606-616.
- Völter C, Thomas JP, Maetzler W, Guthoff R, Grunwald M, Hummel T. Sensory dysfunction in old age. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2021; 118: 512.
- Wang Q, Fu H. Relationship between proprioception and balance control among chinese senior older adults. *Frontiers in physiology*. 2022; 13: 1078087.
- Wang Y, Watanabe K, Asaka T. Aging effect on muscle synergies in stepping forth during a forward perturbation. *European journal of applied physiology*. 2017; 117: 201-211.
- Webster D, Celik O. Systematic review of kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2014; 11: 108.
- Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. John wiley & sons; 2009.
- Wong A, Law LS, Liu W, Wang Z, Lo ES, Lau A , ve ark. Montreal cognitive assessment: One cutoff never fits all. *Stroke*. 2015; 46: 3547-3550.
- Wu J, Nadarajah R, Nakao YM, Nakao K, Wilkinson C, Cowan JC , ve ark. Temporal trends of cause-specific mortality after diagnosis of atrial fibrillation. *European Heart Journal*. 2023; 44: 4422-4431.
- Xia S, Zhang X, Zheng S, Khanabdali R, Kalionis B, Wu J , ve ark. An update on inflamm-aging: Mechanisms, prevention, and treatment. *Journal of immunology research*. 2016; 2016: 8426874.
- Xie H, Wang Z, Wang C, Chien JH. Ageing changes the proprioceptive contribution to balance control under different types of mastoid vibration: A cross-sectional study. *Exp Physiol*. 2025; 110: 1431-1446.
- Xing L, Bao Y, Wang B, Shi M, Wei Y, Huang X , ve ark. Falls caused by balance disorders in the elderly with multiple systems involved: Pathogenic mechanisms and treatment strategies. *Front Neurol*. 2023; 14: 1128092.
- Xu F, Soh KG, Chan YM, Bai XR, Qi F, Deng N. Effects of tai chi on postural balance and quality of life among the elderly with gait disorders: A systematic review. *PLoS One*. 2023; 18: e0287035.
- Yamada M, Arai H. Understanding social frailty. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2023; 115: 105123.
- Zhang YB, Wang WQ. Reliability of the fukuda stepping test to determine the side of vestibular dysfunction. *J Int Med Res*. 2011; 39: 1432-1437.

EKLER

EK-1:

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
Tıbbi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu
2025

/61

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Akdeniz Üniversitesi Tıbbi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu	
	AÇIK ADRESİ:	Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı Morfoloji Binası F Blok 1. Kat No: A1-05 Kampüs /ANTALYA	
	TELEFON	0 (242) 249 69 54	
	E-POSTA	tbaetik@akdeniz.edu.tr	
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI	Dr.Öğr.Üyesi Mert DOĞAN		
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Yaşlılarda Derinlik Sensörleriyle Yapılan Fukuda Adımlama Testi'nin; Test-Tekrar Test Güvenirliliği ve Klinik Değerlendirmelerle İlişkisinin İncelenmesi		
KARAR BİLGİLERİ	Karar No:TBAEK-	168	Tarih: 30.01.2025
	Yukarıda bilgileri verilen çalışmanın yapılacağı merkez/merkezlerden gerekli izinler alındıktan sonra yapılmasında bilimsel ve etik açısından sakınca olmadığına oy birliği ile karar verilmiştir.		

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı	Hasan Tolga	Uyruğu	T.C.
Soyadı	Ünal	Tel no	
Doğum tarihi		e-posta	

Eğitim Bilgileri

Mezun olduğu kurum		Mezuniyet yılı
Lise	Metin Nuran Çakallıklı Anadolu Lisesi	2016
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi	2020
Yüksek Lisans		
Doktora		

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (yıl-yıl)
Fizyoterapist	Özel Öykü Akdeniz Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi	2021-2022
Fizyoterapist	Özel Parlar Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi	2022-Devam Ediyor

Yabancı Dilleri	Sınav türü	Puanı
İngilizce		

Proje Deneyimi

Proje Adı	Destekleyen kurum	Süre (Yıl-Yıl)

Burslar-Ödüller:

Yayınlar ve Bildiriler: Saykad 2025 8. Uluslararası Yaşam Kalitesi Kongresi