



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



BİLGİSAYARLI DİNAMİK POSTÜROGRAFI VE FONKSİYONEL DENGE TESTLERİ İLE MAKİNE ÖĞRENMESİNDE YAŞLI BİREYLERİN DÜŞME RİSKİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Emre SÖYLEMEZ

**KULAK BURUN BOĞAZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Suna TOKGÖZ YILMAZ**

**ANKARA
2024**

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYARLI DİNAMİK POSTÜROGRAFI VE
FONKSİYONEL DENGE TESTLERİ İLE MAKİNE
ÖĞRENMESİNDE YAŞLI BİREYLERİN DÜŞME RİSKİNİN
TAHMİN EDİLMESİ**

Emre SÖYLEMEZ

**KULAK BURUN BOĞAZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Suna TOKGÖZ YILMAZ**

ANKARA

2024

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Bilgisayarlı dinamik postürografi ve fonksiyonel denge testleri ile makine öğrenmesinde yaşlı bireylerin düşme riskinin tahmin edilmesi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanıma ve bana aittir. Tezde yer alan araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Emre SÖYLEMEZ

Tarih:

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalında

Emre SÖYLEMEZ tarafından hazırlanan

“Bilgisayarlı Dinamik Postürografi ve Fonksiyonel Denge Testleri ile Makine Öğrenmesinde Yaşlı Bireylerin Düşme Riskinin Tahmin Edilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından DOKTORA TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26.06.2024

Prof. Dr. Tarkan Babür KÜÇÜK

Ankara Üniversitesi

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Suna TOKGÖZ YILMAZ

Ankara Üniversitesi

Danışman

Prof. Dr. Cem MEÇO

Ankara Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Kadriye Şerife UĞUR

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Evrim ÜNSAL TUNA

Ankara Şehir Hastanesi

Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fügen AKTAN

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bilgisayarlı Dinamik Postürografi ve Fonksiyonel Denge Testleri İle Makine Öğrenmesinde Yaşlı Bireylerin Düşme Riskinin Tahmin Edilmesi

Düşmeler, yaşlı bireylerin karşılaştığı en önemli klinik sorunlardandır. Yaşlı bireylerde düşmelere bağlı yaralanmaların çoğu ölümlü sonuçlanmaktadır. Bu nedenle yaşlı bireylerde düşme riskinin belirlenmesi düşmeyi önleme stratejileri geliştirmek için önemlidir. Bu çalışmanın amacı, bilgisayarlı dinamik postürografiden (BDP) ve fonksiyonel denge testlerinden elde edilen parametreleri makine öğrenmesinde kullanarak düşme riskini tahmin etmektir. Bu çalışmaya 120 yaşlı birey (>65 yaş) dahil edildi. Bu bireyler düşme durumuna göre iki gruba ayrıldı. Son bir yıl içerisinde düşme hikayesi olmayan 65 yaşlı birey grup I'e ve son bir yıl içerisinde düşme hikayesi olan 55 yaşlı birey grup II'ye dahil edildi. Bu bireylerden anamnez alındı ve bireylere fonksiyonel uzanma testi (FUT), zamanlı kalk ve yürü testi (ZKYT), Romberg testi, zorlaştırılmış Romberg testi, foam Romberg test, gözler açık ve kapalı tek ayak üstünde durma testi (TADT), Tinetti denge ve yürüme testi (TDYT) ve duyu organizasyon testi (DOT) uygulandı. Bu bireylerin anamnezleri ve test sonuçları ile veri havuzu oluşturuldu. Oluşturulan veri havuzundaki verilerin 96'sı (%80) ile sekiz adet makine öğrenme algoritması (karar ağacı, rastgele orman, destek vektör makineleri (DVM), XGBoost, yapay sinir ağları, K- en yakın komşu, lojistik regresyon ve Naive Bayes) eğitildi. Geriye kalan 24 (%20) veri ise eğitilen modeller ile test edildi. Düşen yaşlı bireylerde diyabetes mellitus, hipertansiyon, dengesizlik semptomu, işitme kaybı ve artmış vücut kütle endeksi düşmeyen yaşlı bireylere göre daha fazla saptandı ($p<0,05$). Düşen yaşlı bireylerin FUT, ZKYT, TDYT, gözler açık ve kapalı TADT, zorlaştırılmış romberg ve foam romberg testi skorları düşmeyen yaşlı bireylere göre daha kötüydü ($p<0,05$). Düşen yaşlı bireylerin tüm DOT skorları, vestibüler, proprioseptif ve vizüel inputları düşmeyen yaşlı bireylere göre daha kötüydü ($p<0,05$). Bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleriyle oluşturulan makine öğrenme modelleri arasında en yüksek doğruluk oranına %87,5 ile Naive Bayes ulaştı. Fonksiyonel denge testleriyle oluşturulan makine öğrenme modelleri arasında en yüksek doğruluk oranına %83,34 ile lojistik regresyon ulaştı. Bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri ve fonksiyonel denge testleriyle oluşturulan makine öğrenme modelleri arasında en yüksek doğruluk oranına %100 ile DVM ulaştı. Dengeyi değerlendirmek için altın standart yöntem olarak kabul edilen DOT verileri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modelleri arasında en yüksek doğruluk oranına %91,66 ile XGBoost ulaştı. Yaşlı bireylerde düşmeler birçok faktöre bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Düşme riskini tahmin etmek için kullanılan denge testleri ne kadar güvenilir olursa olsun bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri de dikkate alınmalıdır. BDP gibi objektif testlerin bulunmadığı kliniklerde, bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri ve fonksiyonel denge testleri makine öğrenmesinde kullanılarak düşme riski yüksek doğrulukla tahmin edilebilir.

Anahtar Sözcükler: Bilgisayarlı Dinamik Postürografi, Düşme, Fonksiyonel Denge, Makine Öğrenme, Yaşlı

SUMMARY

Predicting The Fall Risk of Elderly Individuals in Machine Learning With Computerized Dynamic Posturography and Functional Balance Tests

Falls are one of the most important clinical problems faced by elderly individuals. Most injuries due to falls in elderly individuals result in death. Therefore, determining the risk of falling in elderly individuals is important for developing fall prevention strategies. This study aims to predict the risk of falling using parameters obtained from computerized dynamic posturography (CDP) and functional balance tests in machine learning. One hundred twenty elderly individuals (>65 years old) were included in this study. These individuals were divided into two groups according to their fall status. Sixty five elderly individuals with no history of falling in the last year were included in group I and 55 elderly individuals with a history of falling in the last year were included in group II. Detailed anamnesis was taken from these individuals and functional reach test (FRT), timed up and go test (TUG), Romberg test, sharpened Romberg test, foam Romberg test, eyes open and closed one leg standing test (OLST), Tinetti balance and walking test (TBWT) and sensory organization test (SOT) were applied to the individuals. A data pool was created with these individuals' anamneses and test results. Eight machine learning algorithms (decision tree, random forest, support vector machines (SVM), XGBoost, artificial neural networks, K-nearest neighbors, logistic regression and Naive Bayes) were trained with 96 (80%) of the data in the created data pool. The remaining 24 (20%) data were tested with the trained models. Diabetes mellitus, hypertension, imbalance symptoms, hearing loss and increased body mass index were detected more frequently in elderly individuals who fell than in elderly individuals who did not fall ($p<0.05$). FRT, TUG, TBWT, eyes open and closed OLST, sharpened Romberg and foam Romberg test scores of elderly individuals who fell were worse than those of elderly individuals who did not fall ($p<0.05$). All SOT scores, vestibular, proprioceptive and visual inputs of elderly individuals who fell were worse than those of elderly individuals who did not fall ($p<0.05$). Among the machine learning models created with individuals' diseases and physical characteristics, Naive Bayes had the highest accuracy rate of 87.5%. Among the machine learning models created with functional balance tests, logistic regression had the highest accuracy rate of 83.34%. Among the machine learning models created based on individuals' diseases, physical characteristics and functional balance tests, SVM had the highest accuracy rate of 100%. Among the machine learning models created using SOT data, considered the gold standard method for assessing balance, XGBoost had the highest accuracy rate of 91.66%. Falls in elderly individuals occur due to multiple factors. No matter how reliable the balance tests used to estimate the risk of falling are, individuals' diseases and physical characteristics should also be considered. In clinics that do not have objective tests such as CDP, individuals' diseases, physical characteristics and functional balance tests can be used in machine learning to predict the risk of falling with high accuracy.

Keywords: Computerized Dynamic Posturography, Fall, Functional Balance, Machine Learning, Elderly

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
Önsöz	viii
Simgeler ve Kısaltmalar	ix
Şekiller	x
Çizelgeler	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Denge	2
1.1.1. Dengenin Değerlendirilmesi	4
1.1.1.1. Cihaz ile Uygulanan Testler	4
1.1.1.2. Cihazsız Uygulanan Testler	4
1.1.2. Dengenin Sağlanamaması ve Düşme	5
1.1.2.1. Düşme için Risk Faktörleri	6
1.1.2.2. Düşmenin Yaygınlığı	10
1.2. Yaşlanma	11
1.2.1. Yaşlanma ve Vestibüler Sistem	12
1.2.2. Yaşlanma ve Proprioseptif Sistem	13
1.2.3. Yaşlanma ve Vizüel Sistem	14
1.2.4. Yaşlanma ve Kas İskelet Sistemi	15
1.2.5. Yaşlanma ve Santral Sinir Sistemi	16
1.2.6. Yaşlanma ve Düşme	17
1.3. Makine Öğrenmesi	17
1.3.1. Makine Öğrenme Algoritmaları	19
1.3.2. Makine Öğrenmesinin Sağlık Bilimlerinde Kullanılması	23
1.4. Amaç ve Hedefler	24
1.5. Hipotezler	24
2. GEREÇ ve YÖNTEM	25
2.1. Bireyler	25
2.2. Yöntem	25
2.2.1. Odyolojik Değerlendirme	26
2.2.1.1. Hikâye	26
2.2.1.2. Saf Ses Odyometrisi	26
2.2.1.3. İmmittansmetrik Değerlendirme	26
2.2.2. Dengenin Değerlendirilmesi	27
2.2.2.1. Bilgisayarlı Dinamik Postürografi (BDP)	27
2.2.2.2. Romberg Test	27
2.2.2.3. Tandem Romberg Testi	28
2.2.2.4. Tek Ayak Üstünde Durma Testi (TADT)	28
2.2.2.5. Fonksiyonel Uzanma Testi (FUT)	28
2.2.2.6. Zamanlı Kalk ve Yürü Testi (ZKYT)	28
2.2.2.7. Tinetti Denge ve Yürüme Testi (TDYT)	29
2.2.2.8. Vizüel Analog Skala (VAS)	29
2.2.3. Makine Öğrenme Modellerinin Oluşturulması	29
2.2.4. Model Performanslarının Değerlendirilmesi	30
2.2.5. Standardize Mini Mental Durum Değerlendirmesi	32
2.2.6. İstatistiksel Analiz	32
3. BULGULAR	33

4. TARTIşMA	44
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
EKLER	64
Ek-1. Etik Kurul Onay Raporu	64
Ek-2. Standartize Mini Mental Durum Değerlendirme Formu	64
ÖZGEÇMİş	66



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle her zaman yanımda olan, kişisel ve mesleki gelişimime büyük katkı sağlayan, ilgisini ve sevgisini her zaman hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Suna TOKGÖZ YILMAZ'a, tez izleme komitemde değerli önerileri ve katkıları ile tezime değer katan Sayın Prof. Dr. Tarık Babür KÜÇÜK'e, Sayın Prof. Dr. Evrim ÜNSAL TUNA'ya ve Sayın Prof. Dr. Orhan YILMAZ'a saygılarımı ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İbni Sina Hastanesi Odyoloji Ünitesi'ndeki hocalarım Doç. Dr. Mine BAYDAN ARAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Zehra AYDOĞAN'a, tüm dönem arkadaşlarıma ve tüm Odyoloji Ünitesi personellerine eğitimim boyunca sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

BİDEB 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı'nın bursiyeri olarak destekleri için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca sevgisini, ilgisini ve desteğini benden esirgemeyen, hayata onların varlığıyla anlam kattığım canım anneme, babama, kardeşlerime ve sevgili eşim Tuğçe GÜREL SÖYLEMEZ'e hayatımda oldukları için çok teşekkür ederim.

SİMGELER VE KISALTMALAR

AUC	Area Under the Curve
BDP	Bilgisayarlı Dinamik Postürografi
DOT	Duyu Organizasyon Testi
DVM	Destek Vektör Makineleri
DVN	Dorsal Vestibüler Nükleus
FUT	Fonksiyonel Uzanma Testi
GVS	Galvanik Vestibüler Stimülasyon
K-EYK	K- En Yakın Komşu
LVN	Lateral Vestibüler Nükleus
MVN	Medial Vestibüler Nükleus
ROC	Receiver Operating Characteristic
SSK	Semisürekli Kanal
SSS	Santral Sinir Sistemi
SSO	Saf Ses Ortalaması
SVN	Süperior Vestibüler Nükleus
TADT	Tek Ayak Üstünde Durma
TDYT	Tinetti Denge ve Yürüme Testi
VAS	Vizüel Analog Skalası
VEMP	Vestibuler Evoked Myogenic Potentials
vHIT	Video Head Impulse Test
VKİ	Vücut Kütle Endeksi
VOR	Vestibulo-oküler Refleks
VR	Vestibüler Rehabilitasyon
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. DVM algoritmasında hiper-düzlemin seçilmesi.	20
Şekil 2.1. ROC eğrisi ve bu eğrinin altında kalan alan (AUC)	32
Şekil 3.1. Gruplara göre bireylerin somatosensör, vizüel, vestibüler, kompozit ve görsel tercih skorları.	36
Şekil 3.2. Makine öğrenmesinde kullanılacak inputların ısı haritası	37
Şekil 3.3. ÖZNİTELİK1/Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi	38
Şekil 3.4. ÖZNİTELİK2/ Lojistik Regresyon algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi	39
Şekil 3.5. A: ÖZNİTELİK3/ Destek Vektör Makineleri algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi	40
Şekil 3.6. A: ÖZNİTELİK4/XGBoost algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi	41
Şekil 3.7. Düşme durumuna etki eden sistemlerin önem derecesi	41
Şekil 3.8. A: tüm ÖZNİTELİK/Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi	42
Şekil 3.9. Naive Bayes algoritmasında yirmi üç nitelik kullanılırken düşme riskini tahmin eden etki büyüklükleri	43

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Modeller için kullanılan parametreler	30
Çizelge 3.1. Gruplara göre demografik bilgiler	33
Çizelge 3.2. Bireylerin kilo, boy ve vücut kütle endeksi	33
Çizelge 3.3. Gruplara göre bireylerin hastalıkları, dengesizlik semptomu özellikleri ve kullandıkları toplam ilaç sayıları	34
Çizelge 3.4. Gruplara göre SSO değerleri, işitme kaybı dereceleri ve asimetrik işitme kaybına sahip birey sayıları	35
Çizelge 3.5. Gruplara göre fonksiyonel denge testi skorları	35
Çizelge 3.6. Gruplara göre DOT skorları	36
Çizelge 3.7. ÖZNİTELİK1 ile oluşturulan modellerin test başarıları	37
Çizelge 3.8. ÖZNİTELİK2 ile oluşturulan modellerin test başarıları	38
Çizelge 3.9. ÖZNİTELİK3 ile oluşturulan modellerin test başarıları	39
Çizelge 3.10. ÖZNİTELİK4 ile oluşturulan modellerin test başarıları	40
Çizelge 3.11. tümÖZNİTELİK'ler oluşturulan modellerin test başarıları	42

1. GİRİŞ

Biyolojik, fiziksel ve fonksiyonel değişikliklere neden olan yaşlanma, bireylerde doğrudan veya dolaylı olarak düşmelere neden olmaktadır. 65 yaş ve üstü bireylerin yaklaşık üçte biri en az yılda bir defa düşme deneyimlemektedir. Bu oran, 80 yaş ve üstü bireylerde %50'ye ulaşmaktadır (Burt ve Fingerhut, 1998). Yaşlı bireylerde düşmeler basit yaralanmalara neden olabileceği gibi önemli yaralanmalara, fonksiyonel sakatlıklara ve ölümlere neden olabilmektedir. Kalça kırıklarının %90'ı düşmeler sonucu oluşmakta ve kalça kırığı yaşayan yaşlı bireylerin %25'i kazadan kısa bir süre sonra yaşamını yitirmektedir (Black, 1993). Düşme sonucu oluşan yaralanmalar ciddi sakatlıklara neden olmasa bile bir daha düşecekmiş korkusuna, kendini kendisini kısıtlamaya ve anksiyeteye neden olabilir. Böylelikle yaşlı bireylerde yaşam kalitesini azaltabilir.

Postürün korunması ve dengenin sağlanması için vizüel, proprioseptif ve vestibüler sistemlerden gelen sinyallerin hızlı bir şekilde merkezi sinir sistemi tarafından işlenmesi ve işlenen bilgilerin efferent yollar ile kas ve iskelet sistemine doğru bir şekilde aktarılması gerekir. Bu sistemlerden herhangi birinde meydana gelen bozulmalar bireylerde dengesizliğe, yürüyüş bozukluğuna, dizinessa, vertigoya ve düşmelere neden olabilir. İster yaşlanmaya bağlı doğal bir süreç olsun ister hastalıklar sonucu, denge sistemlerindeki bozulmalar yaşlı bireylerde daha fazla gözlenmektedir (Kerber vd., 1998). Dengesizliğin istenmeyen sonuçlarını (düşmeleri) önlemek için en iyi yöntemin güç, dayanıklılık ve denge eğitimi içeren çok bileşenli bir egzersiz programı olduğu belirtilmiştir (Cadore vd., 2013). Ek olarak düşme riskinin sistematik olarak değerlendirilmesi yaşlı bireylerde düşme yaygınlığını azaltmak için çok önemlidir (Rubenstein, 2006). Bu değerlendirmelerde genellikle aletli ve aletsiz çeşitli testler ve ölçekler kullanılmaktadır. Bu testlerden en çok bilineni her üç denge sistemini de değerlendiren bilgisayarlı dinamik postürografidir (BDP). BDP, yaşlı bireylerde düşme riskini belirlemek için oldukça hassastır ancak maliyetli olması nedeni ile ulaşılması zordur (Müjdeci vd., 2012). Fonksiyonel uzanma testi (FUT), zamanlı kalk ve yürü testi (ZKYT) ve tek ayak üstünde durma testi (TADT) gibi fonksiyonel testler herhangi bir alete ihtiyaç duymadan basit bir şekilde düşme riskinin değerlendirilmesi için kullanılabilir. Ancak bu testler, bazı durumlarda çelişkili bulgular verebilmektedir ve sensitivite/spesivitesi oldukça düşüktür (Kozinc vd., 2020). Dolayısı ile düşme riskinin değerlendirilmesi için doğruluğu yüksek ve daha ulaşılabilir yöntemlere ihtiyaç vardır.

Yapay zeka, bilgisayar ve akıllı teknolojiler kullanarak insan davranışlarını simüle etmek olarak tanımlanmaktadır (Amisha vd., 2019). Son zamanlarda yapay zekanın (makine öğrenmesi) hastalıkları tanılamada ve hastalık prognozunun belirlenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir (Abbasgholizadeh Rahimi vd., 2021). Hastalıkları tahmin etmek için bilgisayarlara büyük veri kümeleri sağlanır ve bu verilerin tanıya veya prognoza etkisi makineye öğretilir. Makine öğrenme modelleri girdileri işlerken tek başına tanıyı tahmin etmek için yetersiz olan verilerin çıktıya etkisini ağırlıklandır. Modellerden bu ağırlıklandırılmış algoritma ile bir sonraki sağlanan girdilere göre sonucu tahmin etmesi beklenir. Benzer olarak intrensek ve ekstrensek faktörlere bağlı olan düşmeleri tahmin etmek için makine öğrenmesi kullanılabilir. Bilgimiz dahilinde literatürde BDP ve fonksiyonel denge testlerini kullanarak makine öğrenmesinde düşme riskini araştıran geniş kapsamlı bir araştırma bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bilgisayarlı dinamik postürografiden ve fonksiyonel denge testlerinden elde edilen parametreleri makine öğrenmesinde kullanarak düşme riskini tahmin etmektir. Çalışmamızda iki farklı makine öğrenme modeli oluşturulmak hedeflenmektedir. Bunlardan ilki bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri ve basit fonksiyonel denge testleri ile oluşturulan temel makine öğrenme modeli, diğeri ise BDP kullanılarak oluşturulan ileri makine öğrenme modelidir.

1.1. Denge

Denge, ağırlık merkezini merkezinizi (vücut ağırlığının eşit olarak dağıldığı nokta) sabit bir pozisyonda tutabilme veya düşmeden, ağırlık merkezini istediğiniz gibi kontrol etme yeteneği olarak tanımlanabilir. Statik denge, hareketsiz dururken postüral salınımı kontrol etmeye yardımcı olur. Dinamik denge ise hareket değişikliklerini öngörmeyi ve bunlara tepki vermeyi sağlar. Her iki denge türü de postüral kontrolün sağlanması için önemlidir.

Dengenin düzgün bir şekilde sağlanması merkezi sinir sistemi (beyin ve omurilik), vestibüler sistem (beyin ve iç kulak), vizüel sistem (beyin ve göz) ve propriyoseptör sistem etkileşimine bağlıdır. Bunlara ek olarak omurilik reflekslerini ve beynin komutlarını harekete dönüştürmek için kaslar ve kemikler de önemlidir (Salamon, 2012).

Beyin ve omurilik birlikte merkezi sinir sistemini oluşturur. Beyin sapının arkasında ve serebral korteksin altında yer alan ve beynin bir bölümü olan beyincik, denge ve hareketi sağlar. Sensör inputları alır ve komutlar verir. Ayrıca, yürümek veya tekme atmak gibi uygulama yoluyla pekişmiş hareketleri yönetir. Serebral korteksin de dengenin sağlanmasında görevleri bulunmaktadır. Dikkat ve planlama ile ilgili işlevleri yerine getiren frontal loptaki alanlar denge için önemlidir. Bu alanlar kaygan bir zeminde veya kayalık yollarda dengenin sağlanabilmesi için önemli ipuçlarını depolar. Bu sayede alışılmış zorlu koşullarda dengenin sağlanmasına yardımcı olur (Salamon, 2012).

Omurların içinde uzanan omurilik, beyin ve vücut arasında bir köprü görevi görür. Omurların arasından çıkan spinal sinirler organlardan afferent inputları alır ve bu organlara efferent inputlar verir. Kaslara istemli hareket komutları verir. Ayrıca beklenmedik itmelere karşı adım alma refleksini sağlar (Salamon, 2012).

Semisirküler kanallar (SSK) ve otolit organları içeren vestibüler sistem denge duyusunun merkezidir. Bu yapılar dıştan kemik labirent ve içten zar labirent ile çevrilidir. Zar labirentin içinde endolenf, zar ile kamik labirent arasında perilenf bulunur. SSK'lar 3 adettir ve açısız hareketlerden sorumludur. Bu yapılar açısız hareketleri SSK'ların ampullarında bulunan kristaller vasıtası ile algırlar. Otolit organlar ise utrikül ve sakkülden oluşur. Utrikül yatay hareketleri algırlarken sakkül dikey hareketleri algılar. Bu yapılar lineer hareketleri makula olarak isimlendirilen özel duyu alanları sayesinde algılar. Makulalarda, özelleşmiş duyu epitellerinin üzerinde, otokonya olarak isimlendirilen kalsiyum karbonat kristalleri bulunmaktadır (Salamon, 2012).

Gözler, vizüel inputları optik sinir yoluyla beyne gönderir. Bu sayede çevredeki nesnelerin nerede olduğunu tespit edilir. Vizüel inputlar, proprioseptif ve diğer duysal girdiler için önemli bir tamamlayıcıdır (Salamon, 2012).

Kaslarda, tendonlarda ve eklemlerde bulunan propriyoseptörler, beyne vücudun konumu ile ilgili bilgiler sağlar. Bu sayede bireylerin tökezlemeden veya bir şeye çarpmadan hareket etmesine yardımcı olur. Ayaklardaki propriyoseptörler dengede özellikle büyük bir rol oynar. Bu propriyoseptörler yüzey alanı ile ilgili inputları afferent sinirler aracılığı ile beyne iletir. Bu bilgilere göre de kas kasılmaları ayarlanır (Salamon, 2012).

Proprioseptörler tarafından toplanan duyuusal bilgiler, sinirler ile beyne iletilir. Beyinden gelen komutlar kasların kasılıp gevşemesini sağlar. Tendonlara bağlı kaslar kemikleri çekerek uygun hareketi sağlar (Salamon, 2012).

1.1.1. Dengenin Değerlendirilmesi

Bireylerde denge genellikle katılımcının hareket durumuna göre dinamik ve statik denge testleri ile değerlendirilir. Bu testler bazı özel denge cihazları ile veya cihazsız olarak uygulanabilir.

1.1.1.1. Cihaz ile Uygulanan Testler

Bilgisayarlı Dinamik Postürografi (BDP): zorlu statik ve dinamik koşullar altında postüral dengeyi ve stratejileri değerlendirmek için kullanılan objektif bir tekniktir. BDP, patolojinin yerini ve hastalığın tanısını tespit etmeye yönelik değildir. Bireylerin günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirmesine olanak sağlayan fonksiyonel denge becerisinin bir göstergesidir (Furman, 1994). BDP; vizüel, vestibüler ve proprioseptif sistemlerin değerlendirilmesi, vestibüler rehabilitasyon (VR) uygulamaları, terapi etkinliğinin değerlendirilmesi ve düşme riskinin belirlenmesi amacı ile kullanılabilir (Black, 2001).

BDP sistemi ağırlık merkezinin izdüşümünü hesaplar ve bunu monitörize edebilir. Bu sayede bireylerin hareketli zemine veya hareketli platforma vermiş oldukları tepkiler kayıt altına alınabilir. Böylelikle BDP, vücut salınımını ve ağırlık merkezi değişikliklerini ölçerek vücudun kütle merkezinin tahmin edilmesine olanak sağlar (Shepard ve Janky, 2010).

BDP sistemi Duyu Organizasyon Testi (DOT), Motor Kontrol Testi, Adaptasyon Testi ve İstemli Motor Kontrol Testini içerir. Ayrıca başka protokoller de eklenebilir.

1.1.1.2. Cihazsız Uygulanan Testler

Romberg: Adını Avrupalı bir nörolog olan Mortiz Romberg'ten alan *Romberg testi* (Berge vd., 2022), tarihsel olarak proprioseptif girdilerin yolağını veya terminallerini (beyin ve omuriliğin dorsal kolonu) değerlendirmek için kullanılmıştır. Genellikle serebellar ve dorsal kolon patolojilerini belirlemek için kullanılan test, periferik vestibüler patolojiler

(özellikle bilateral vestibülopati) ve düşme riskini belirlemek içinde kullanılmaktadır (Forbes vd., 2023).

Zamanlı Kalk ve Yürü Testi (ZKYT), Podsiadlo ve Richardson (1991) tarafından geliştirilmiştir. Bireylerden yerden yüksekliği yaklaşık 46 cm olan bir sandalyeye oturması ve klinisyenin komutu ile sandalyeden kalkıp 3 metrelik parkuru yürümesi ve geri dönüp sandalyeye tekrar oturması istenir. Yürüme süresinin artması ve test başarısının azalması, düşme riskinin arttığını gösterir. Yaşlı bireylerde ZKYT skorunun 10 ile 33 sn arasında olduğu bildirilmiştir (Arnold ve Faulkner, 2007; Thomas ve Lane, 2005).

Fonksiyonel Uzanma Testi: Duncan vd. (1990) tarafından geliştirilen fonksiyonel uzanma testi (FUT), birey sabit bir destek yüzeyindeyken kolun ulaşabileceği maksimum mesafe olarak tanımlanır. Farklı engel gruplarına uygulanabilmesi için modifikasyonları da bulunan FUT, dinamik dengeyi değerlendirmek, yaşlılarda düşme riskini belirlemek ve denge rehabilitasyon etkinliğini değerlendirmek için sıklıkla kullanılır.

Tek Ayak Üstünde Durma Testi: ZKYT ve FUT'un aksine tek ayak üstünde durma testi (TADT), statik dengenin değerlendirilmesinde kullanılır. TADT'yi uygulamak için herhangi bir ekipmana ihtiyaç duyulmaz. Bireylerden istedikleri bir ayağını kaldırması ve tek ayak üstünde durması istenir. Bireylerin tek ayak üstünde durabildiği süre bir kronometre ile kayıt altına alınır. Birey kaldırdığı ayağını indirdiğinde, dengesini kaybettiğinde veya yerdeki ayağını oynattığında kronometre durdurulur. Düşme riskini belirlemek için kullanılan TADT'yi yaşlanma ve osteoporoz gibi hastalıklar etkileyebilir (Michikawa vd., 2009).

1.1.2. Dengenin Sağlanamaması ve Düşme

Düşme, bir bireyin istemsiz ve herhangi bir sebebe bağlı olarak yere, zemine veya herhangi bir alt seviyeye yığılma olarak tanımlanmaktadır. Düşmeler, özellikle yaşlı bireylerde ciddi yaralanmalara ve ölümlere neden olabilir. Bu nedenle önemli bir halk sağlığı sorunudur. Düşmelerden kaynaklanan ölümlerin yüzde yetmişi yaşlı nüfusta meydana gelir. Düşmelerden kaynaklanan morbiditeler, kırıklar ve yumuşak doku travmaları daha fazla düşme endişesi oluşturur ve bireylerde güven kaybına neden olur.

1.1.2.1. Düşme için Risk Faktörleri

Bireylerde dengenin bozulması düşmelere ve ciddi yaralanmalara neden olabilir. Bu nedenle dengeyi etkileyen faktörler aynı zamanda düşmeler için risk faktörüdür (SUAGS, 2011). Bu faktörler kişiye bağlı (intrensek) veya çevresel (ekstrensek) gelişebilir. Kişiye bağlı faktörler; yaş, fonksiyonel yetenekler, kronik hastalıklar ve yürüme bozuklukları gibi özellikleri içerir (Sartini vd., 2010). Çevresel risk faktörleri ise uygun olmayan ayakkabılar, kaygan zemin veya gevşek kilimler, takılma tehlikeleri veya zayıf aydınlatma gibi durumları ifade eder (Azer vd., 2010). Düşme riski olan bireylerin tespit edilmesi, düşmeyi önleme stratejileri geliştirmek ve erken tedbir almak için oldukça önemlidir. Düşme riski olan bireyleri belirlemenin en iyi ve basit yöntemi bireylerde daha önce düşme öyküsü olup olmadığının sorgulanmasıdır.

Yaş: Yaşlanma ile meydana gelen fizyolojik ve patolojik değişiklikler dengesizliğe ve düşmelere neden olabilir. Bu değişikliklere normal yaşlanma ile gelişen kas-iskelet sistemi ve kardiyovasküler sistem bozuklukları, görsel, vestibüler ve proprioseptif duyu girdilerindeki azalma, koordinasyonda veya postüral yanıtlarda yavaşlama ve bilişsel işlevlerde azalma (özellikle çift görev) örnek gösterilebilir (Segev-Jacobovski vd., 2011). Yaş ilerledikçe yürüme hızı yavaşlamakta, adımlar kısalmakta ve düztabanlık eğilimi artmaktadır (Ko vd., 2009). Ayrıca yaşlı bireylerdeki yürüyüş paterni daha az koordineli ve daha zayıf duruş kontrolü ile karakterizedir. Refleksler, kas gücü ve tonusu, adım uzunluğu ve yüksekliği yaşlanmayla birlikte azalır. Bu değişiklikler beklenmedik bir tökezleme veya kaymadan sonra düşmeyi önleme yeteneğini bozar. Yaşlı bireyler dengeleri bozulduğunda düşmeleri önlemek için hızlı bir adım alma (ağırlık merkezini dengeleme) konusunda daha az başarılıdır. Genellikle bu etkisiz adımlama refleksi tek bir yumuşak adım yerine birkaç küçük kararsız adım atma şeklindedir (Wolfson vd., 1986). Ayrıca dengeyi korumak için kol reaksiyonlarını başlatmada zorluk gösterirler. Yaşlı bireyler, gençlere göre kol reaksiyonlarına daha fazla bağımlı gibi görünseler de, uzanıp kavrama reaksiyonlarını hızlı bir şekilde yürütemezler (Maki ve McIlroy, 2006). Bu anormal durumlar, düşme öyküsü olan bireylerde daha da belirgin görünmektedir (Chandler vd., 1990).

Sosyodemografik faktörler: Yapılan çalışmalar, cinsiyet ve eğitim düzeyi gibi bazı sosyodemografik faktörlerin denge fonksiyonlarını etkilediğini belirtmiştir. Özellikle yaşlı bireylerde erkeklerin dinamik denge becerileri kadınlara göre daha iyidir (Lord vd., 1994). Başka bir çalışma (Voos vd., 2011) yüksek eğitim düzeyinin daha iyi bilişsel işlevler ve

denge becerileri ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Daha da önemlisi, yaşlı insanlarda denge fonksiyonlarının fiziksel egzersizle iyileştiği bulunmuştur. Wong vd. (2001), tai chi uygulayan yaşlı bireylerin, zorlu denge becerilerinin uygulamayan yaşlı bireylere göre daha iyi olduğunu bildirmiştir. Benzer olarak uzun süreli fiziksel egzersizler yaşlı bireylerin denge yeteneklerini artırmaktadır (Seco vd., 2013). Ek olarak, uyku koşulları da denge becerilerini etkileyebilir. Uykusuz kalan bireyler kendilerini yorgun hissetmektedir. Bu durum da daha kötü denge skorlarına neden olmaktadır (Ma vd., 2009).

Vertigo ve dizziness: Akut vestibüler patolojiler sonucu gelişen vertigo doğrudan dengeyi etkiler ve düşme riski oluşturur. Kronik dönemde de vestibüler patolojiler düşmelere neden olabilir. Periferik vestibüler sistem; gözler, boyun, serebellum, ekstremiteler ve retiküler formasyon ile bağlantılara (refleks arkları) sahiptir. Vestibüler organdaki herhangi bir bozukluk bu refleksleri bozabilir. En temel reflekslerden biri olan vestibüler sistem ile ekstraoküler kaslar arasındaki bağlantı vestibülo-oküler refleks (VOR) olarak isimlendirilmektedir. VOR'un temel görevi baş hareketleri sırasında sabit görüşü sürdürmektir. Dolayısı ile azalmış VOR düşük görme keskinliğine, yani dengesizliğe neden olabilir (Honaker ve Shepard, 2011).

Vestibüler disfonksiyon diğer bir nedeni yaşlanmadır. Periferik ve santral sinir sisteminde yaşlanmaya bağlı değişiklikler gözlenmektedir (Sturnieks vd., 2008). Bu durum yaşlı bireylerde genellikle postüral dengesizlik ve geniş taban alanı, kararsız dönüşlerle sendeleyerek yürüyüş paterni ve yürüme bozukluklarına yol açar. Dolayısı ile yaşlılarda tekrarlayan düşme riski daha yüksektir.

Vestibüler problemlere ek olarak dizzinessa neden olabilecek serebrovasküler, nörolojik, otoimmün, sistemik ve kardiyolojik hastalıklar da bireylerde dengeyi ve postürü negatif olarak etkileyebilir.

Alt Ekstremité Gücü: Yapılan bir meta-analizde diz eksitasyon kuvveti, ayak bileği dorsifleksiyon kuvveti ile sandalyede kalkma ve düşme arasında ilişkisi olduğu tespit edilmiştir (Moreland vd., 2004). Egzersiz programlarının düşme riskine olan etkisi tartışmalıdır. Ancak yine de egzersiz programları düşme riskini azaltmak için çok boyutlu bir müdahale planının parçası olarak dahil edilmektedir (Ambrose vd., 2013).

Görme: Zayıf görsel girdi mesafelerin yanlış değerlendirilmesine ve uzamsal bilgilerin yanlış yorumlanması neden olur. Dolayısı görme kaybı olan bireylerin engellerden kaçınma yani denge becerileri bozulur. Yapılan çalışmalarda yaşa bağlı makula dejenerasyonu olan hastaların üçte ikisinde düşme riskinde artışa neden olan görsel-motor ve denge bozuklukları olduğu bulunmuştur (Radvay vd., 2007; Szabo vd., 2008). Bu bulgular, mesafeleri doğru bir şekilde belirleme ve mekansal ilişkileri algılama yeteneğinin, çevrede güvenli bir şekilde hareket etmek için uygun kararlar almak için önemli olduğunu göstermektedir. Kontrast duyarlılığı düşme riski taşıyan bireyleri belirlemede de kullanılabilir. Kenar kontrast duyarlılığındaki bir kayıp, yaşlı insanları basamaklar, bordürler, ağaç kökleri, patika çatlakları ve yüzey kaymaları gibi engellere takılmaya yatkın hale getirebilir (Patino vd., 2010). Yapılan bir derleme çalışmasında tekrarlayan düşmelerin risk faktörleri; zayıf derinlik algısı, stereo keskinliği ve düşük kontrastlı görme keskinliğini bildirmiştir (de Boer vd., 2004). Benzer olarak katarakt cerrahisinin düşme riskini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Harwood vd., 2005).

Bilişsel Durum: Dikkatte azalma ve bilişsel bozulma, dengesizlik ve düşmeler için bir risk faktörü olarak kabul edilmiş olsa da mekanizması tam olarak anlaşılamamış ve genel olarak önemsenmemiştir. Postüral stabilite; çevresel uyaranları algılama, işleme ve motor koordinasyonla vücut hareketini yönetme becerisidir. Motor ve duyu sistemleri, hareketleri planlamak, sorunları çözmek, dikkati bölmek ve çevredeki değişikliklere yanıt vermek için gerekli olan üst düzey kortikal süreçlerle bağlantılıdır.

Yapılan bir meta-analiz çalışmasında global bilişteki azalmanın dengesizliği ve düşme riskini artırdığı tespit edilmiştir (Muir vd., 2012). Başka bir çalışmada, Mini Mental Durum Değerlendirilmesindeki her bir puan düşüşünün düşme riskini yaklaşık %20 arttığı bulunmuştur (Gleason vd., 2009). Bir başka araştırmada, düşmeyi etkileyen dört bilişsel alan tanımlanmıştır: dikkat (çift görev), yürütme işlevi, bilgi işleme ve tepki süresi (Alexander ve Hausdorff, 2008). Bunların arasında en önemlisinin dikkat yani çift görev becerisi olduğu belirtilmiştir. Aynı anda birden fazla görevi yerine getirme becerisini ifade eden çift görev en çok denge ve yürüyüş bozukluğu ve düşme riski ile ilişkili bulunmuştur (Holtzer vd., 2007). Hem bir göreve hem de yürüyüşe dikkat edilmesini gerektiren durumlarda, dikkat kaynakları sınırlı olan denekler görevlerden birinde veya her ikisinde de performans düşüklüğü yaşamaktadır.

Nörodejeneratif hastalıklar: Demans tanısı toplumdaki tüm yaşlılar için düşme veya tekrarlayan düşmeler için yüksek risk teşkil etmektedir (Yarnall vd., 2011). Son yıllarda yapılan araştırmalar, Alzheimer hastalığı olan bireylerin düşme prevalansının olmayanlara göre daha yüksek olduğunu tespit edilmiştir. Alzheimer hastalığında bireylerin yürüyüş şekillerini değiştirmekte ve artan yürüme dengesizliği düşmelere neden olmaktadır (Yarnall vd., 2011). Yapılan bir çalışmada, demansın (demans alt tipi veya şiddeti belirtilmeden) düşme riskini artırsa da ciddi yaralanmalara neden olmadığı belirtilmiştir (Muir vd., 2012). Benzer şekilde, dikkat ve yürütme işlevinde daha fazla bozukluğu olan Parkinson hastalığı da düşme riskini ve dengesizliği artırmaktadır. Bir çalışmada Parkinson hastalığı olan bireylerin düşme oranı %67 iken olmayanların oranı %18 olarak tespit edilmiştir (Ambrose vd., 2006).

Kardiyovasküler Hastalıklar: Üç dakika ayakta durma ile veya eğimli bir masa üzerinde (en az 60°) baş yukarı durma ile sistolik kan basıncında 20 mm Hg ve üzeri veya diyastolik kan basıncında 10 mm Hg ve üzeri azalma olarak tanımlanan ortostatik hipotansiyon, özellikle yaşlı nüfusu etkileyen yaygın bir durumdur (Freeman vd., 2011). Yapılan bir çalışmada ortostatik hipotansiyonun dengesizliğe neden olduğu ancak doğrudan düşmeler ile ilişkili olmadığı tespit edilmiştir (Gangavati vd., 2011).

Başka bir çalışma hipertansiyonu olan bireylerin denge becerilerini karşılaştırmıştır (Hausdorff vd., 2003). Çalışmada bazı denge ve yürüme testleri ile kan basıncı ve kalp atış hızı arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Yani normal tansiyona sahip bireylerin zamanlı kalk ve yürü testi sonuçları ve vücut salınım oranları hiper tansiyona sahip bireylere göre daha iyiydi (Hausdorff vd., 2003).

Atriyal Fibrilasyon: Atriyal fibrilasyon hastalarında azalmış kalp debisi, eşlik eden sinüs düğümü hastalığı ve bozulmuş baro refleksi bireylerin dengesini bozabilir. Yapılan bir çalışmada (Sanders vd., 2012) düşme sonucu acil servise gelen hastalar iki gruba ayrılmıştır; Kaza sonucu düşenler ve nedensiz düşenler. Araştırmada atriyal fibrilasyonu olan hastaların daha fazla nedensiz düştüğü tespit edilmiştir.

Duygudurum Bozuklukları: Depresyon gibi duygudurum bozuklukları hareketliliği sınırlayabilir, dengeyi kötüleştirebilir ve bireyleri düşmeye yatkın hale getirebilir. Yapılan bir çalışmada, huzurevinde kalan yaşlı bireylerde depresyonun düşme riskine etkisi incelenmiştir. Sadece depresyonu olan bireylerde düşme riskinin beş kat, yardımcı cihaz

kullanan depresif yaşı hastalarda altı kat, ve nörolojik rahatsızlığı olan depresif hastalarda on bir kat arttığı tespit edilmiştir (Wright vd., 2011). Ayrıca majör depresyon bozukluğu olan bireylerin yürüme hızlarının ve çift görev performansının azaldığı tespit edilmiştir (Paleacu vd., 2007).

İlaçlar: Bazı ilaçlar dengesizliğe ve düşmelere neden olabilmektedir. Komorbid hastalık sayısı arttıkça ve dörtten fazla ilaç kullanımının düşme riskini artırdığı bilinmektedir (Tinetti vd., 1988). Bunun haricinde benzodiazepinler, antipsikotikler ve antidepresanlar gibi psikotropik ilaçlar; steroid olmayan antiinflatuar ilaçlar ve digoksin, tip 1 anti-aritmik ve diüretikler gibi kardiyovasküler ilaçlar düşme riskini artırabilir (Ambrose vd., 2013).

Ev Ortamı: Çevresel veya dışsal faktörler de düşme riskini artırabilir. Yetersiz aydınlatma ve evin etrafındaki gevşek halı veya kilimler düşmelere neden olabilir. Bu faktörler görme bozukluğu olan bireylerde daha fazla risk oluşturabilir. Arışı yumuşak kilimler ise proprioseptif girdiyi azaltabilir ve özellikle vestibüler problemi olan bireylerde düşmelere neden olabilir. Ev ortamı düzenlemesinin düşme riskini azalttığı bazı çalışmalarda belirtilse de (Gillespie vd., 2003) bazı çalışmalar tek başına yeterli olmadığını göstermiştir (SUAGS, 2011).

Ayakkabı: Diğer bir önemli çevresel risk faktörü, postüral stabiliteyi etkileyen ve dolayısıyla düşmeleri artıran ayakkabılardır. Çalışmalarda evde terlik giymenin giymeyenlere göre daha fazla düştüğünü göstermektedir (Menant vd., 2008). Çıplak ayakla veya çorapla yürümek ise spor ayakkabı veya kanvas ayakkabılarla yürümeye kıyasla düşme riskini 11 kata kadar artırabilir (Menant vd., 2008; Tencer vd., 2004). Ayakkabının tasarımı da düşme riski için önemlidir. 2,5 cm'den daha yüksek topuklu ayakkabılar, kanvas ayakkabılara kıyasla daha yüksek düşme riskiyle ilişkilidir (Menant vd., 2008; Tencer vd., 2004).

1.1.2.2. Düşmenin Yaygınlığı

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, kasıt olmaksızın meydana gelen düşmeler, trafik kazalarından sonra ikinci en yaygın ölüm nedenidir. Dünya çapında her yıl yaklaşık 684.000 kişi düşme nedeniyle ölmektedir ve bunların %80'inden fazlası düşük ve orta gelirli ülkelerdedir (Ye vd., 2021). Özellikle yaşlı bireylerde yaş arttıkça düşme riski de artmaktadır. Ancak düşmeler çocuk ve yetişkinler için de ciddi sonuçlar doğurabilir.

Suudi Arabistan’da yapılan bir çalışmada çocuklardaki düşme nedeniyle hastaneye başvurma prevalansı araştırılmış ve prevalansın yaklaşık %1 olduğu belirtilmiştir (AlSowailmi vd., 2018). Düşmeler bu oran ile tüm çocukluk çağı yaralanmalarının %25’ini oluşturmaktadır (Adesunkanmi vd., 1999). Çocuklarda düşme riskini artırabilecek birçok faktör vardır. Bu faktörlerin başında yaş gelmektedir. Düşme mekanizması çocuğun yaş grubuna göre farklılık gösterebilir. Örneğin bebeklerde düşmeler yatakta yuvarlanma, emekleme veya ilk adımlarını atma sırasında meydana gelebilir. Küçük çocuklarda ise koşarken veya tuvaleti nasıl kullanacaklarını öğrenirken meydana gelebilir. Adolesan döneminde ise düşmeler genellikle banyoda veya kıyafet değiştirirken meydana gelebilir.

Düşme yaygınlığını araştıran çalışmalar genellikle yaşlı bireylere odaklanmasına rağmen genç yetişkinlerde düşmeler yaygındır. Gençlerdeki düşmelerin nedenleri genellikle spor yaralanmaları, iş kazaları ve dikkatsizliktir. ABD’de yaşlara göre düşme yaygınlığını araştıran bir çalışmaya (Ye vd., 2021) göre düşme prevalansı gençlerde %18; orta yaş grubunda %21 ve yaşlı bireylerde %35’tir. Ayrıca çalışmada kadınların erkeklere göre daha fazla düştüğü ve düşen bireylerin yaklaşık %70’inin yaralandığı bildirilmiştir. Düşme prevalansını araştıran bir meta analizde (Salari vd., 2022) benzer olarak yaşlanma ile düşme yaygınlığının arttığı belirtilmiş ve en yüksek düşme oranına sahip ülkeler %34,4 ile Okyanusya ile ABD olarak belirtilmiştir.

Ülkemizdeki düşme yaygınlığını araştıran çalışmalara bakıldığında; Aktaş vd. (2004) yaşlı bireylerde düşmelere bağlı kalça kırığı prevalansını %25 olarak bildirmişlerdir. Cevizci vd. (2015) ise yaşlı bireylerdeki düşme yaygınlığını %32,1 olarak belirtmiş ve kadınların erkeklere göre daha fazla düştüğünü bildirmiştir. Cevizci vd’nin bildirdiği yaygınlık ve kadınların düşme açısından daha fazla risk altında olduğu bulgusu paralellik göstermektedir. Seçil vd. (2016) ise Trabzon ilindeki yaşlı bireylerin düşme prevalansını %36,2 olarak bildirmiştir.

1.2. Yaşlanma

Yaşlanma, çevresel faktörlerinde etkisi ile yaş ilerledikçe insan vücudunda meydana gelen değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Bu değişiklikler dengeyi sağlayan sistemlerde de gözlenmektedir.

1.2.1. Yaşlanma ve Vestibüler Sistem

Yaşa bağlı vestibüler disfonksiyon ve buna bağlı dengesizliğin morbidite, mortalite ve sağlık bakım kaynakları üzerinde önemli bir etkisi vardır. ABD'de genel vestibüler disfonksiyon prevalansının %35,4 olduğu bildirilmiştir (Agrawal vd., 2009). Bu bireylerin bazılarında aktif dizziness semptomu olsa da bazılarında vestibüler disfonksiyon asemptomatik seyredebilir. Vestibüler fonksiyon bozukluğu olan hastaların düşme riski olmayanlara göre önemli ölçüde daha yüksektir (Agrawal vd., 2009). Birleşik Krallık'ta yapılan bir çalışmada düşen yaşlı yetişkinlerde vestibüler bozukluk prevalansının %80 olduğunu, düşmeyen yetişkinlerde ise bu oranın %19 olduğunu tespit edilmiştir (Liston vd., 2014).

Yaşlanma ile birlikte hem SSK'lardaki hem de otolit organlardaki tüylü hücre sayısında azalma görülmektedir (Johnsson, 1971; Richter, 1980). Yaşlanmanın otolit organlara etkisi vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (VEMP) ile gösterilmiştir (Richter, 1980). VEMP amplitüdündeki azalma otolit organ fonksiyonunun azaldığının göstergesidir. VEMP latansının uzaması ise beyin sapı sinyal işlemenin yavaşlaması ile ilişkili olabilir (Brantberg vd., 2007; Su vd., 2004). Yaşlanma ile birlikte cVEMP amplitüdü azalmakta ve latansı uzamaktadır (Brantberg vd., 2007). Bu bulgular oVEMP için de geçerlidir. Li vd. (2015), her on yılda oVEMP amplitüdünde 2,9 μ V azalma ve latansında 0,12 ms'lik bir uzama olduğunu göstermiştir. cVEMP'te ise her on yılda 0,14 μ V amplitüt azalması tespit etmiştir. Ancak çalışmada latanslar açısından anlamlı bir fark bildirilmemiştir.

Yaşlanma ile otolit organlarda meydana gelen değişiklikler postmortem çalışmalar ile de gösterilmiştir (Allen vd., 2016). Yaşlanma hayvanlarda ve insanlarda otokonya kütlesinde azalma ve kırık oluşumu ile ilişkilendirilmiştir (Allen vd., 2016).

Yaşa bağlı SSK'lardaki disfonksiyon, otolit organlar ile karşılaştırıldığında, daha fazladır. Yaşa bağlı vestibüler disfonksiyon prevalansının SSK'larda %82-94; sakkülde %54-62 ve utrikülde %18-24 olduğu bildirilmiştir (Johnsson ve Hawkins, 1972). Yaşlanma ile görülen bu anormallik, otolit disfonksiyonuna benzer şekilde herhangi bir dengesizlik semptomu vermeyebilir. Li vd. (2015) video head impulse test (vHIT) kullanarak yaptığı çalışmada VOR kazancının 26 ile 79 yaşları arasında sabit kaldığını, daha sonra yılda 0,012

oranında azaldığını belirtmiştir. Anormal VOR kazancı prevalansı seksen yaşından büyüklerde %13 olarak bildirilirken 80 yaşından küçüklerde %2,8 olarak bildirilmiştir.

Yaşlanmanın periferik vestibüler sisteme etkisi sadece SSK'lar ve otolit organlar ile sınırlı değildir. Yapılan bazı çalışmalarda yaşa bağlı vestibüler ganglion (scarpa ganglionu) ve vestibüler sinirde dejenerasyon olduğunu bildirilmiştir (Richter, 1980; Velázquez-Villaseñor vd., 2000).

1.2.2. Yaşlanma ve Proprioseptif Sistem

Proprioepsiyon “eklem ve vücut hareketinin yanı sıra vücudun veya vücut bölümlerinin uzaydaki konumunun algılanması” olarak tanımlanmaktadır. Proprioepsiyon algısı, eklemlerde, kapsüllerde, bağlarda, kaslarda, tendonlarda ve deride bulunan mekanoreseptörler tarafından sağlanır (Carpenter vd., 1998). Yaşlanma proprioseptif sistemi de etkilemektedir. Yaşlanmanın proprioseptif sisteme etkisi genellikle eklem açısı farkındalık testleri ile belirlenmiştir. Skinner vd. (1984) eklem hareketinin tespit eşiği ve pozisyon üretme ile yaşlanmanın diz proprioepsiyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada yaşlı bireylerin gençlere göre daha zayıf proprioepsiyona sahip olduğunu belirtilmiştir. Kaplan vd. (1985), yeniden konumlandırma kullanarak proprioepsiyondaki yaşa bağlı değişiklikleri değerlendirmiştir. Çalışmada Skinner vd.’nin bulguları ile benzer şekilde yaşlanma ile proprioseptif duyarlılığın azaldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde üst ekstremitelerde yaşlanma ile dirsek ve parmak eklemi pozisyon duyusunda bir azalma gözlenmektedir (Ferrell vd., 1992).

Proprioepsiyon algısı santral ve periferik uyaranlar ile sağlanır. Periferik seviyede proprioepsiyon algısı mekanoreseptörlerden gelen kümülatif nöral girdiye dayanır. Literatürde yaşlanmanın proprioseptif sisteme etki mekanizması eklem (Aydoğ vd., 2006) ve kutanöz (Iwasaki vd., 2003) reseptörlerdeki yapısal değişiklikler ile açıklanmıştır. Kas içcikleri, golgi tendon organına göre proprioseptif algısında daha baskın olduğu için yapılan çalışmalar genellikle kas içciklerine odaklanmıştır. Yaşlanma ile kas içciği sayısında azalma (iğ başına intrafüzal kas lifi sayısında ve nükleer zincir liflerinin toplam sayısındaki azalma) ve iğ kapsülü kalınlığında artma görülmektedir (Kararizou vd., 2005; Liu vd., 2005; Miwa vd., 1995). Buna ek olarak ilerleyen yaş, duyuşal girdilerin işlenmesinde eksikliklere (miyelin anormallikleri, aksonal atrofi ve azalan sinir iletim hızı) (Verdú vd., 2000) ve nöromüsküler performansta düşüşe yol açabilir. Yaşlanma ile birlikte motor ünitelerin sayısı

ve işlevinde yaşa bağlı bu değişikliğin, kas kuvveti üretimi ve kontrolünde etkileri vardır. Bu kontrol eksikliğinin aynı zamanda proprioseptif yetenek üzerinde de yansımaları olabilir. Yaşlanma, motor korteksteki dendrit sistemini de etkiler. Nöron ve reseptör sayısındaki kayıplar beyinde nörokimyasal değişikliklere neden olur (Strong, 1998). Dolayısı ile proprioseptif algının santral yollarından sorumlu yapılar da yaşlanmadan etkilenebilir. Bununla birlikte, çalışmalarda (Horak vd., 1989) yaşlı bireylerdeki yaşa bağlı periferik proprioseptif sistemdeki bozulmanın santral sinir sistemi tarafından telafi edildiği ileri sürülmüştür (Ribeiro ve Oliveira, 2007).

1.2.3. Yaşlanma ve Vizüel Sistem

Yaşlanma, göz küresinde yapısal değişikliklere neden olmaktadır. Yaşlanma ile birlikte gözün odak uzaklığının değişmesinden sorumlu olan lens, ağırlaşır ve kalınlaşır, elastikiyetini kaybeder ve lense çevreleyen siliyer kasın çapı azalır. Lensin elastikiyetini kaybetmesi bireylerin yakın nesnelere odaklanma yeteneğinin azalmasıyla karakterize olan presbiyopiye neden olur (Glasser ve Campbell, 1999). Yaşla birlikte gözdeki aberasyonlar artmaktadır. Bu durum uzamsal görmenin bozulmasına neden olur. Yaşlanmaya bağlı olarak göz küresinde meydana gelen anatomik değişiklikler merkezi sinir sistemine gönderilen görsel girdilerin kalitesinde azalmaya neden olur. Böylelikle nesne çözünürlüğünü ve kontrastını retinal görüntüye aktaran modüler transfer fonksiyonunda bozulmalar gelişir (Artal vd., 1993).

Yapılan bir araştırmada yaşın uzaysal görme, yüksek ve düşük kontrast keskinliği, kontrast duyarlılığı, renkli görme yeteneği, stereopsis ve görme alanı üzerine etkisi değerlendirilmiştir (Haegerstrom-Portnoy vd., 1999). Çalışma sonunda kontrast keskinliğinin 65 ila 70 yaşlarına kadar nispeten korunduğunu ve 70 yaş üzerinde azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Diğer tüm görsel işlevlerde ise yaşlanma ise bir bozulma gözlemlendiği belirtilmiştir. Hareket algısı yaşlanmadan etkilenen bir diğer görsel fonksiyondur. Snowden ve Kavanagh (2006) hareket algısı yeteneğinin yaşla birlikte nasıl değiştiğini araştırmıştır. Gençler ile karşılaştırıldığında yaşlı bireylerde düşük hız eşliğinin ve hız ayırım eşliğinin, geniş uzaysal frekans seviyelerinde (0,5-4 döngü/derece), daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

1.2.4. Yaşlanma ve Kas İskelet Sistemi

Vücudu şekillendiren, hareketi sağlayan, iç organları koruyan, homeostazis için hayati önem taşıyan organik ve inorganik moleküller için rezerv sağlayan kas-iskelet sisteminin hemen hemen tüm bileşenleri yaşlanma sürecinden etkilenmektedir. Ayrıca yaşlanmayla birlikte kas-iskelet sistemindeki çeşitli dokuların moleküler sinyal ağlarındaki koordinasyon da bozulmaktadır.

Yaşlanmayla birlikte kemik kütlesinde azalma gözlenmektedir. Yaşlı bireylerde kemiğin yeniden şekillenme döngüsü uzar, mineralizasyon hızı yavaşlar ve kemikler daha az sert ve güçlü ve daha kırılabilir hale gelir. Kemiğin yeniden şekillenmesi, kemik iliğini desteklemek, vücudu şekillendirmek, hayati organları korumak ve mineral kaynağı sağlamak için gereklidir (Sagiv, 2020). Kadınlarda menopozal dönemle birlikte, bir zamanlar koordineli olan kemik üretim mekanizması bozulur. Bu durum kademeli kemik kaybına, kırılabilirliğin artmasına ve osteoporotik kırıklara yol açar. Yani kadınlarda kemik kaybının erkeklere göre daha erken dönemde başladığı söylenebilir (Sagiv, 2020).

Kas metabolizması, sinir ve endokrin sistem tarafından düzenlenen karmaşık bir süreçtir. Yaşlılarda kas fonksiyon bozukluğunun en önemli nedeni kas atrofisidir. İskelet kaslarının kütlesi ve gücündeki yaşa bağlı kayıp sarkopeni olarak isimlendirilmektedir (Sagiv, 2020). Yaşlı bireylerde gözlenen sarkopeni kemiklerde kırılabilirliğe ve sonuç olarak engelliliğe neden olabilir. Ayrıca, kaslar metabolik bir protein kaynağıdır. Bu nedenle kas kütlesi ve performansındaki azalma önemli bir morbidite ve mortalite sebebidir (Tieland vd., 2018). Bireylerde 50 yaş sonrasında yılda yaklaşık %1-2 oranında kas kütlesi kaybı gözlenmektedir. Yaşlanmayla birlikte kas kaybı daha belirgin hale gelir ve yılda %3-4'e ulaşabilir (Sagiv, 2020). Histolojik olarak yaşlı bireylerin fasikül uzunlukları daha kısadır. Bu durum sarkomer kaybına neden olur. Sonuç olarak kas yoğunluğu azalır, kaslar arası yağ bileşeni artar ve kas daha az kuvvet üretir (Sagiv, 2020). Sinir sistemindeki değişikliklerin yaşa bağlı kas fonksiyon bozukluklarında önemli bir rol oynadığına inanılmaktadır. Bu nedenle, primer motor korteksi çevreleyen bölgelerde atrofi ile birlikte motor ve premotor kortekste meydana gelen değişiklikler, beyaz madde kütlesinde ve miyelinli sinir liflerinin uzunluğunda yaşa bağlı değişiklikler, kas bozulmasının patogeneğinde önemli rol oynamaktadır (Hunter vd., 2016). Yaşlı bireylerde serotonerjik, kolinerjik, adrenerjik, dopaminerjik, GABAerjik ve glutamaterjik sistemler de dahil olmak üzere nörotransmisyonun bozulması, kas performansında daha fazla azalmaya yol açabilir (Jang ve

Van Remmen, 2011). Sarkoplazmik retikulum Ca^{2+} salınımındaki değişikliklerin yaşlanan iskelet kasındaki kasılma kuvveti bozukluğunun ana nedeni olduğuna inanılmaktadır (Sagiv, 2020).

Tendonlar ve bağlar, gerilme mukavemeti sağlayan fibriler kollajenle zengin, yoğun bağ dokusundan oluşur. Tendonlar kasları kemiklere bağlar ve kas kasılma kuvvetlerini kemik dokusu üzerinde iletir. Bağlar kemikleri birbirine bağlar ve eklemleri stabilize etmeye yarar. Bu bağlantıların bütünlüğü kas-iskelet sisteminin normal işleyişi için gereklidir. Yaşlanmayla birlikte tendonların ve bağların gücü azalır ve eklem hareket açıklığında genellikle %20-25 oranında bir azalma meydana gelir (Sagiv, 2020).

1.2.5. Yaşlanma ve Santral Sinir Sistemi

Beyin ve omurilikten oluşan santral sinir sisteminde (SSS) de yaşla birlikte değişiklikler gözlenmektedir. Yaşlanmayla birlikte beyinde atrofi, gri ve beyaz madde değişiklikleri ve hacim kaybı, ventriküler genişleme ve sulkusların genişlemesi gibi çeşitli morfolojik değişiklikler meydana gelir. Kırk yaşından sonra beynin hacminin ve ağırlığının her on yılda yaklaşık %5 oranında azaldığı bilinmektedir. Bu oran 70 yaşından sonra daha hızlı bir şekilde artmaktadır (Peters, 2006).

Denge sisteminin santral komponentini beyin sapında bulunan vestibüler nükleuslar ve bu nükleuslar ile bağlantılı yapılar oluşturur. Dört çeşit vestibüler çekirdek vardır. Bunlar; dorsal vestibüler nükleus (DVN), lateral vestibüler nükleus (LVN), süperior vestibüler nükleus (SVN) ve medial vestibüler nükleustur (MVN). Yapılan bir çalışmadan bu çekirdeklerde her on yılda %3 oranında nöronal kayıp bulunmuşlardır (Lopez vd., 1997). Ayrıca nöron kaybının SVN'de daha yüksek, MVN'de ise en az olduğunu tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise bu çalışmadan farklı olarak yaşlanma ile SVN'un nöral yapısının korunduğu ve vestibüler çekirdeklerin hacmi veya uzunluğunun değişmediği bildirilmiştir (Alvarez vd., 2000).

Beyincik, vestibüler çekirdeklerden ve periferik vestibüler organlardan afferent girdiler almaktadır. Yaşlanmayla birlikte serebellar vermisteki hacmin, Purkinje hücre yoğunluğunun ve flokküler nodüler lobdaki beyaz cevherin azaldığı gösterilmiştir (Andersen vd., 2003). Ayrıca serebral kortekste vestibüler uyarıyla etkinleşen geniş bir ağ vardır (Lobel vd., 1998). Dolayısı ile kortikal vestibüler bağlantılar da yaşlanma ile değişebilir. Bu değişim

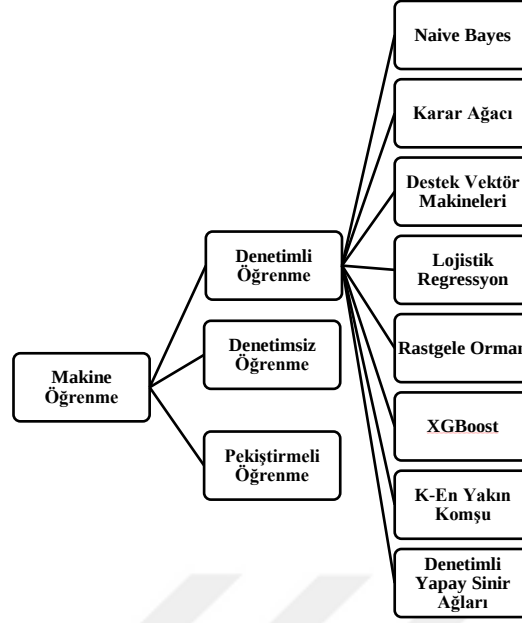
galvanik vestibüler stimölasyon (GVS) ile gösterilmeye çalışılmıştır. GVS, doğrudan vestibüler siniri ve bağlantılarını uyarmaktadır. Yapılan bir çalışmada artan yaşla birlikte nöral bağlantılarda bir azalma olduğunu bildirilmiştir (Jahn vd., 2003).

1.2.6. Yaşlanma ve Düşme

Dengenin sağlanamadığı durumlarda veya kasıt olmayan kazalar sonucu düşmeler meydana gelmektedir. Düşme bir hastalık değil, bir semptomdur ve sıklıkla çok faktörlü ve birbiriyle ilişkilidir. Dengenin sağlanması için vizüel, proprioseptif ve vestibüler sistemlerden gelen sinyallerin düzgün bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. Yaşlanmanın neden olduğu komorbiditeler ile sistemlerdeki fiziksel ve duyuşsal bozulmalar dengeyi sağlayan sistemleri olumsuz etkiler. Yaşlanmaya bağlı bilişsel bozulmalar ise istenmeyen kazalara, yani düşmelere neden olabilir. Dolayısı ile yaşlı bireylerde düşme riskinin artması kaçınılmazdır. Yaşlı bireylerde düşmenin nedenleri birçok faktöre dayanabilir. Bu nedenle yaşlı bireylerde düşmeyi önlemek için multidisipliner bir yaklaşım gerekmektedir.

1.3. Makine Öğrenmesi

Günümüzde bireyler yaptıkları görevleri daha basit şekilde gerçekleştirmek için çeşitli yollar aramaktadır. Bireylerin bu arayışı farklı makinelerin icat edilmesine yol açmıştır. Makineler insanların seyahat, endüstri ve bilgisayar gibi çeşitli yaşam ihtiyaçlarını karşılamasını sağlayarak insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Makine öğrenmesi de insan yaşamını kolaylaştırmak için son zamanlarda yaygın olarak kullanılan yazılım ve mühendisliğin gelişmesi ile ortaya çıkan bir yöntemdir. Makine öğrenimi, bilgisayarlara verilerden öğrenme yeteneği kazandıran çalışma alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem ile karmaşık veriler bilgisayarlara öğretilmekte ve sonraki veriler oluşturulan algoritmalara göre tahmin edilebilmektedir. Günümüzde birçok alanda kullanılan makine öğrenimi, veri problemlerini çözmek için farklı algoritmalara dayanır. Bir sorunu çözmek için en iyi, herkese uyan tek tip bir algoritma bulunmamaktadır. Kullanılan algoritmanın türü; çözmek istenilen problemin türüne, değişkenlerin sayısına, değişkenin tipine ve veri sayısı gibi faktörlere bağlıdır (Mahesh, 2020). Makine öğrenme çeşitleri aşağıda sunulmuştur.



Denetimli Öğrenme: Girdi ve çıktı çiftine dayalı olarak kullanılan bir makine öğrenimi görevidir. Denetimli makine öğrenimi algoritmaları, dışarıdan yardıma ihtiyaç duyan algoritmalar. Veri kümesi eğitim ve test aşamaları olarak ikiye bölünmüştür. Algoritmalar, eğitim veri setinden bir modeli geliştirir ve bunları tahmin veya sınıflandırma için test veri setine uygular (Mahesh, 2020).

Denetimsiz Öğrenme: Denetimli öğrenmenin aksine bu öğrenme türünde doğru cevaplar yoktur. Algoritmalar verideki ilgi çekici yapıyı keşfetme ve ilişkiyi uygulama konusunda eğitilmişlerdir. Bu sayede algoritmalar verilerin özelliklerini öğrenir. Yeni veriler sunulduğunda öğrendiği özelliklere göre yeni tanınır ve sınıflandırılır. Genel olarak kümeleme ve özellik azaltma için kullanılır (Mahesh, 2020).

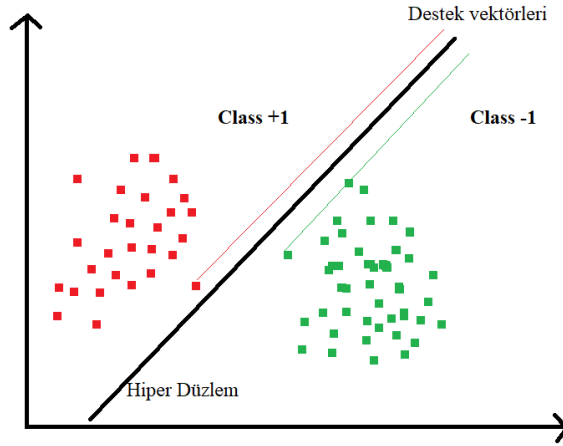
Pekiştirmeli Öğrenme: Pekiştirmeli öğrenme, amaca yönelik ne yapılması gerektiğini belirlemek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu öğrenme türü, bir ortamda kümülatif ödül kavramını en üst düzeye çıkarmak için nasıl hareket edilmesi gerektiğiyle ilgilenen bir makine öğrenimi alanıdır. Pekiştirmeli öğrenme, denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenmenin yanı sıra üç temel makine öğrenimi paradigmasından biridir (Mahesh, 2020).

1.3.1. Makine Öğrenme Algoritmaları

Naive Bayes: Özellikler arasında bağımsızlık varsayımına dayanan çok sınıflı bir algoritmadır. “Naive” kelimesi bağımsızlık teriminin kaynağıdır. Bu bağımsızlık varsayımı, özellik değişkenleri arasındaki ilişkinin yokluğunu ifade eder. Yani, bu varsayımına göre verilerdeki her özellik, diğer özelliklerden bağımsızdır.

Bağımsızlık varsayımı, algoritmanın hesaplamalarını basitleştirir ve modelin karmaşıklığını azaltır. Özellikle çok sayıda özellik içeren problemlerde hesaplamaların hızlı ve etkili bir şekilde yapılmasını sağlar. Ancak bu varsayım gerçek dünya verileri için her zaman geçerli değildir. Bu nedenle bazı kısıtlamalara sahiptir (Le Fort, 2018). Öncelikle bazı veriler birbirleri ile ilişkilidir bu nedenle bu algoritmanın verdiği sonuçlar değerlendirilirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer ise algoritma bağımsızlık varsayımına bağlı olarak sonucu tahmin etmede yeterli başarıyı göstermeyebilir. Bu kısıtlılıklara dikkat edildiğinde Naive Bayes algoritması çoğu sınıflandırma görevinde başarılı sonuçlar elde edebilir (Mahesh, 2020).

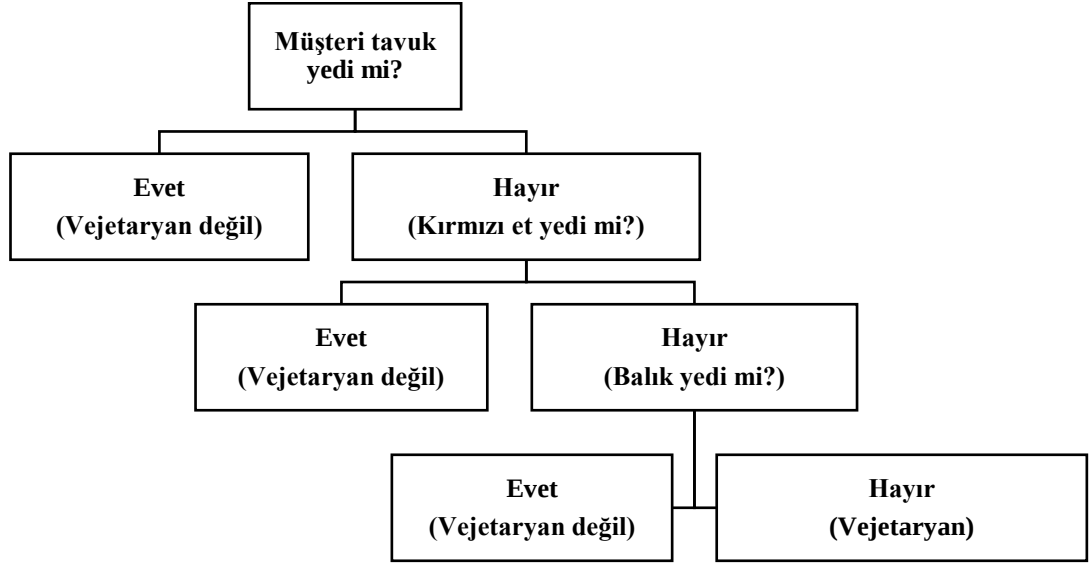
Destek Vektör Makineleri (DVM): Bu algoritma sonuca ulaşmak için girdileri en iyi şekilde ayıran bir ayırıcı hiper-düzlem arar. Algoritmada temel amaç, ayırmanın doğru olması ve hiper-düzlem ile sonuca zıt etki eden girdiler arasındaki mesafenin uzak olmasıdır. DVM doğrusal olmayan ayırıcı hiper-düzlemler oluşturmak için çekirdekler kullanılarak genişletilebilir. Her bir kümeden hiper-düzleme en yakın olan noktalar destek vektörleri olarak bilinir. Eğitilen modeli tanımlamak ve depolamak için gerekli olan tek şey bu destek vektörleri olduğundan, bu algoritma hafıza açısından son derece verimlidir. DVM'ler ayrıca çok yüksek boyutlu alanlarda da etkilidir ve veri kümesinde net bir ayırım varsa iyi çalışır (Cortes ve Vapnik, 1995). Şekil 1.1'de görülebileceği üzere iki sınıf için öncelikle hatayı minimize eden paralel iki adet vektör seçilerek aralarındaki mesafe maksimum yapılmakta ve araya optimum hiper-düzlem çizilmektedir (Mahesh, 2020).



Şekil 1.1. DVM algoritmasında hiper-düzlemin seçilmesi

Karar Ağacı: Bir sınıflandırma ve regresyon algoritmasıdır. Çalışma prensibi bir ağaç yapısı üzerine kuruludur ve kök, düğümler ve yapraklardan oluşmaktadır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler bir dizi test sorusu ve koşulu ile ağaç şeklinde bir yapıda temsil edilmektedir. Ağaç, kök düğümden başlayarak verileri özelliklere göre böler ve sonuçta yaprak düğümlerinde tahmin değerlerini atar. Karar ağacı, basit ve anlaşılır bir şekilde verileri sınıflandırmak veya tahmin etmek için kullanılabilir.

Karar ağacı algoritmasında amaç özniteliklerden çıkarılan kuralların öğrenilmesi ile hedef değişkenin değerini tahmin edebilen bir modelin geliştirilmesidir. Bu yapı, kararları açıklamak ve izlemek için görselleştirilebilir. Karar ağacı algoritmaları sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılırken, bu algoritma ayrık ve sürekli verileri işleyebilir. Ancak veri seti küçükse veya çok fazla dal ve yaprak içeriyorsa sınıflandırma hataları artabilir. Ayrıca, aşırı öğrenmeye (ezbere) eğilimli olabilirler. Bu nedenle, ağacın karmaşıklığını sınırlamak için budama gibi teknikler kullanılır. Böylelikle ağaçların karmaşıklığı sınırlandırılabilir ve aşırı öğrenmeye engel olunabilir. Karar ağacı algoritmalarının nasıl oluşturulacağını belirlemek önemlidir ve bu konuda çeşitli yaklaşımlar ve kriterler bulunmaktadır, örneğin entropi ve bilgi kazancı kullanılarak ID3 algoritması. Bu algoritmalar, özniteliklerin önemini ve hangi özniteliklerin kullanılacağını belirlemek için entropi ve bilgi kazancı gibi kavramları kullanır (Le Fort, 2018; Mahesh, 2020). Örneğin bir restorana giden bir müşterinin vejetaryen olup olmadığını tahmin etmeye çalışalım. Müşterinin yedikleri bizim girdimiz olacaktır ve ağacımız bu girdideki sorulara göre şekillenecektir. Aşağıda bu örnek görselleştirilmiştir (Mahesh, 2020).



Lojistik Regresyon: Hem sınıflandırma hem de regresyon analizlerinde kullanılan bir algoritmadır. Bu yöntem, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi inceleyerek, ilgili değişkenin modelde yer alıp alamayacağını ve ne kadar önemli olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Bu algoritma rastgele başlangıç parametrelerinden başlar ve tanımlanan kayıp fonksiyonu kullanarak hata oranını sürekli olarak azaltmaya çalışır. Lojistik regresyonun en büyük faydalarından biri kullanılabilir olasılıklarla tahmin sağlama yeteneğidir. Ancak bu model doğrusal olmayan durumları çözmekte yetersiz kalabilmektedir (Genkin vd., 2007).

Rastgele Orman: Rastgele orman, karar ağaçları algoritmasında gözlenen ezber yapma durumunu ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Bu algoritma, veri seti ve özelliklerden rastgele alt gruplar seçerek çok sayıda karar ağacı oluşturur ve bu ağaçları bir orman yapısında birleştirir. Ağaçların oluşturulmasında rastgele özellikler kullanılır ve eğitim verileri orijinal veri setinden rastgele örneklemelerle elde edilen alt veri setleriyle eğitilir. Bu yöntem, birden fazla farklı ağaç oluşturur ve bu ağaçlarda budama işlemi yapılmaz, bu da aşırı öğrenme sorununu azaltmaya yardımcı olur (Breiman, 2001). Bu nedenle rastgele orman yüksek performans ve güvenilir sonuçlar sağlayan bir makine öğrenimi algoritması olarak dikkat çeker. En önemli dezavantajı ise rastgele ormanları eğitme süresinin tekil karar ağaçlarını eğitmekten daha uzun sürmesidir.

XGBoost: XGBoost (eXtreme gradient boosting), karar ağaçlarına dayalı bir makine öğrenimi algoritmasıdır ve hesaplamalarda eğim artırma yöntemini kullanır. Bu yenilikçi algoritma, sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılır ve genellikle

büyük veri kümeleri üzerinde yüksek performans sağlar. XGBoost, ağaçların birleştirilmesi ve ağırlıklandırılmasıyla özgün bir tahmin gücü oluşturur. Ağaç oluştururken maksimum derinlik sınırlamasını kullanır ve aşırı büyüme önlemek için gerektiğinde budama işlemi uygular. Bu, ezber riskini azaltır. Ayrıca, Gradient Boosting algoritmaları birinci dereceden fonksiyonlar kullanırken, XGBoost ikinci dereceden fonksiyonları kullanarak kayıp fonksiyonlarını hesaplar. Bu daha hassas sonuçlar sağlar. XGBoost, paralel işleme yeteneği sayesinde sonuçlara daha hızlı ulaşmayı mümkün kılar. Aynı zamanda, erber riskini azaltmak için düzenleme tekniklerini kullanır ve bu nedenle çok sayıda veri bilimcisi ve mühendis tarafından tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir (Kelle ve Yuce, 2022).

K-En Yakın Komşu: K-En Yakın Komşu (K-EYK) algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılan, görece basit bir makine öğrenimi yaklaşımıdır. Yeni bir veri noktası tanımlandığında, algoritma eğitim veri kümesindeki en yakın k veri noktasını bulur ve bu noktaların sınıf bilgilerini kullanarak bilinmeyen veri noktasının sınıfını tahmin eder. Mesafe hesaplamaları için farklı metrikler kullanılabilir, ancak genellikle öklid uzaklığı tercih edilir. K-EYK'nın avantajları arasında basit uygulanabilirlik, çeşitli özellik ve mesafe ölçütleri seçenekleri sunması ve çok sınıflı problemleri doğal olarak ele alabilmesi bulunur. Ayrıca, büyük ve temsilci bir eğitim seti kullanıldığında doğru sonuçlar üretebilir. Ancak, bu algoritmanın bazı dezavantajları da vardır. En önemlisi, bu tembel bir algoritma olarak kabul edilir, yani sınıflandırma işlemi yalnızca bilinmeyen bir veri noktası tahmin edilmek istendiğinde gerçekleştirilir. Bu, hesaplama maliyetini artırabilir, çünkü her yeni veri noktasını sınıflandırmak için eğitim verileri üzerinde büyük bir arama yapılması gerekir. Ayrıca, uygun bir uzaklık fonksiyonunun seçilmesi önemlidir, çünkü yanlış bir seçim algoritmanın doğruluğunu etkileyebilir (Imandoust ve Bolandraftar, 2013).

Yapay Sinir Ağları: İnsan beyninden ilham alınarak tasarlanan yapay sinir ağları (YSA) ile doğrusal ve doğrusal olmayan işlevler başarıyla modellenilebilir. YSA, yapay nöronlar adı verilen hesaplama birimlerinden ve bu nöronların katmanlarından oluşur. Her katman, girdileri işler ve sonuçları diğer katmanlara iletir. Genellikle 3 katman bulunur; verileri alan ve girdi olarak sunan giriş katmanı, verilerin işlendiği ve desenlerin öğrenildiği gizli katman ve nihai tahminleri veya çıktıları sağlayan çıkış katmanı. Her bir yapay nöron, birden çok girdiyi alır, bu girdileri belirli ağırlıklarla çarpar ve sonuçları bir aktivasyon fonksiyonuna gönderir. Bu fonksiyon sonucunda nöronun çıktısı hesaplanır ve diğer

nöronlara iletilir. Başarılı bir modellemede herhangi bir x girdisi ile y çıktısı arasındaki ilişkiyi anlamak için yeteri kadar katman kullanılmalıdır.

YSA’larda gizli katman sayısı ile ilgili bir kısıtlama bulunmamaktadır. Verilerin tipine göre katman sayısı artırılabilir. Ancak katman sayısı artıktıkça YSA’nın karmaşıklığı artmakta ve eğitim süresi uzamaktadır. YSA eğitimi, nöronların ağırlıklarını ayarlayarak gerçek sonuçlara yaklaşmayı amaçlar. Eğitim sonunda, ağırlık yeni veriler üzerindeki performansını değerlendirmek için kayıp fonksiyonlar kullanılır. Bu fonksiyonlar gerçek sonuç ile tahmin edilen sonuç arasındaki farkı hesaplar. Genellikle, ortalama kare hatası kullanılır. Eğitimin amacı, ağırlıkları ayarlayarak kayıp fonksiyonunu minimize etmektir. Geri yayılım algoritması, ağırlıkları güncellemek için gradyan iniş kullanır. Bu yöntem yaygın olarak kullanılan bir eğitim yöntemidir. Stokastik gradyan iniş ise veri setini yığınlar bölere ve eğitimi hızlandırır. Adam, Adagrad ve RMSprop gibi yöntemler de eğitim için sıkça kullanılır (Ruder ve Plank, 2018).

1.3.2. Makine Öğrenmesinin Sağlık Bilimlerinde Kullanılması

Makine öğreniminin sağlık sektöründe kullanımı giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Yapılan araştırmalarda makine öğreniminin sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmak, hastalık kontrolünü desteklemek, hastalıkları erken teşhis etmek ve hastane işletme maliyetlerini azaltmak gibi konularda fayda sağlayabileceği belirtilmiştir (Polatlı ve Karadayı, 2022). Kısaca makine öğrenimi, sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesine ve daha etkili bir şekilde sunulmasına katkıda bulunabilir.

Yapılan çalışmalarda Naive Bayes, Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon, K- En Yakın Komşu, Linear Discriminant Analysis, Yapay Sinir Ağları, Multiple Linear Perceptron, Radial basis function kernel Support Vector Machine ve Deep Neural Network with Support Value gibi algoritmalarının uyguladığı görülmüştür. Modellemelerde genellikle COVID-19’u tanılamak, kalp hastalığını tanılamak ve tanı için en iyi algoritmayı bulmak, diyabet hastalığını ve diyabet riskini tanımlamak, karaciğer hastalığını sınıflandırmak, kanserleri erken tahmin etmek, ilaç dozajı ayarlamak, kalp krizi riskini tahmin etmek, tiroit hastalığını tahmin etmek, Alzheimer hastalığını erken tahmin etmek ve böbrek hastalıklarını erken tahmin etmek hedeflenmiştir (Polatlı ve Karadayı, 2022). Odyoloji alanında makine öğrenmesi ile yapılan çalışmalar ise genellikle

gürültüye bağlı işitme kaybını erken tahmin etmeye veya ani işitme kaybında prognozu belirlemeye odaklanmıştır (Chen vd., 2021; Park vd., 2020).

1.4. Amaç ve Hedefler

Bu çalışmanın amacı, bilgisayarlı dinamik postürografiden ve fonksiyonel denge testlerinden elde edilen parametreleri makine öğrenmesinde kullanarak düşme riskini tahmin etmektir.

Çalışmamızda iki farklı makine öğrenme modeli oluşturulmak hedeflenmektedir. Bunlardan ilki bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri ve basit fonksiyonel denge testleri ile oluşturulan temel makine öğrenme modeli, diğeri ise BDP kullanılarak oluşturulan ileri makine öğrenme modelidir.

1.5. Hipotezler

Hipotez 1;

H0: Düşen ve düşmeyen yaşlı bireyler arasında bilgisayarlı dinamik postürografi, fonksiyonel denge testleri ve komorbiditeler açısından bir fark yoktur.

H1: Düşen ve düşmeyen yaşlı bireyler arasında bilgisayarlı dinamik postürografi, fonksiyonel denge testleri ve komorbiditeler açısından bir fark vardır.

Hipotez 2;

H0: Düşen ve düşmeyen yaşlı bireylerin bilgisayarlı dinamik postürografi bulgularını, fonksiyonel denge testlerini ve komorbiditelerini makine öğrenmesinde kullanılarak düşme riskini yüksek başarı oranıyla tahmin eden modeller oluşturulamaz.

H1: Düşen ve düşmeyen yaşlı bireylerin bilgisayarlı dinamik postürografi bulgularını, fonksiyonel denge testlerini ve komorbiditelerini makine öğrenmesinde kullanılarak düşme riskini yüksek başarı oranıyla tahmin eden modeller oluşturulabilir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları doktora programına bağlı olarak İbni Sina Hastanesi Odyoloji, Denge ve Konuşma Bozuklukları Tanı ve Rehabilitasyon Ünitesinde yürütüldü. Çalışma için Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulundan onay alındı (2022000648-2022/648). Çalışmaya dahil edilen tüm bireylerden sözlü ve yazılı izin alındı.

2.1. Bireyler

Çalışmaya 65 yaş ve üzeri 120 yaşlı birey dahil edildi; bireylerin düşme durumu sorgulanarak 2 grup oluşturuldu. Düşme öyküsü olmayan 65 birey grup I'e dahil edildi. Herhangi bir bilinç kaybı veya saptanabilir bir nedene (ortopedik hastalıklar, felç, nöbet veya madde/alkol kullanımı) bağlı olmaksızın bir yıl içinde en az bir defa düşme öyküsü olan 55 yaşlı birey ise grup II'ye dahil edildi. Düşme, bireyin dengesini kaybettiği ve yerle temas ettiği olaylar olarak tanımlandı.

Bireylerin Çalışmaya Dahil Edilme Kriterleri

- Yaşın 65-79 aralığında olması,
- Kafa travması öyküsünün olmaması,
- Hastaların Meniere hastalığı, vestibüler nörit, BPPV gibi tanılanmış nedenlere bağlı baş dönmesi şikâyeti/hikayesinin olmaması,
- Kas ve iskelet sistemi bozukluklarının, görme kaybının ve nörolojik bir hastalığının olmaması,
- Mini Mental Durum Değerlendirme skorunun 24'ten büyük olmasıdır (Eker vd., 2002).

2.2. Yöntem

Kulak burun boğaz muayenesi yapılan tüm bireylerden ayrıntılı hikaye alındı. Düşme durumuna göre iki gruba ayrılan tüm katılımcılara sırasıyla mini mental test, odyolojik değerlendirme, Romberg testi, fonksiyonel uzanma testi (FUT), tek ayak üstünde durma testi

(TADT), zamanlı kalk ve yürü testi (ZKYT), vizüel analog skala (VAS), Tinetti Denge ve Yürüme Testi (TDYT) ve bilgisayarlı dinamik postürografi (BDP) uygulandı.

2.2.1. Odyolojik Değerlendirme

2.2.1.1. Hikâye

Çalışmaya dahil edilen yaşlı bireylerden alınan ayrıntılı anamnezde bireylerin demografik bilgileri, ek hastalıkları, dengesizlik ve düşme durumları sorgulandı ve kullandığı ilaçları da içeren hasta bilgi formu tüm bireylere uygulandı.

2.2.1.2. Saf Ses Odyometrisi

Çalışmaya dahil edilen tüm bireylere saf ses odyometri testi sessiz kabinde AC-40 klinik odyometre (Interacoustics, Danimarka) ile yapıldı. Katılımcıların hava yolu işitme eşikleri TDH 39 supra aural kulaklık kullanılarak bilateral 125-8000 Hz aralığında; kemik yolu işitme eşikleri ise radio ear B71 kemik vibratör kullanılarak bilateral 500-4000 Hz aralığında tespit edildi. Saf ses ortalaması (SSO) 500,1000, 2000 ve 4000 Hz'in ortalaması alınarak hesaplandı. İşitme kaybı sınıflandırması iyi kulağa göre yapıldı. SSO'nun 20 dB'den az olması durumunda işitme normal olarak kabul edildi. SSO'nun 20-40 dB arasında olması hafif dereceli işitme kaybı, 41-55 dB arasında olması orta dereceli işitme kaybı, 56-70 dB arasında olması orta-ileri dereceli işitme kaybı, 71-90 dB arasında olması ileri dereceli işitme kaybı ve >90 dB çok ileri işitme kaybı olarak kabul edildi (Ajmani vd., 2019). Sağ ve sol kulak SSO'lar arasında 15 dB'den fazla fark olması durumu asimetrik işitme kaybı olarak kabul edildi (Noh ve Lee, 2023).

2.2.1.3. İmmittansmetrik Değerlendirme

Çalışmaya dahil edilen yaşlı bireylerin timpanometrik ölçümleri GSI Tymptar Versiyon 2 (Grason Stadler Inc., MN, ABD) cihazı ile 226 Hz prob tonda gerçekleştirildi. Katılımcıların bilateral 500- 4000 Hz aralığında ipsilateral ve kontralateral akustik refleks eşikleri belirlendi.

2.2.2. Dengenin Değerlendirilmesi

2.2.2.1. Bilgisayarlı Dinamik Postürografi (BDP)

BDP testi, Smart Equitest Dinamik Postürografi (NeuroCom Balance Manager Systems, Natus, ABD) ile uygulandı. Katılımcılara test yöntemi açıklandı, düşmeleri önlemek için katılımcılardan emniyet yeleği giymesi istendi ve platforma çıkarılan bireylere BDP ile Duyu Organizasyon Testi (DOT) uygulandı. Her durumu 20 sn süren DOT; 6 farklı durumu değerlendirmektedir ve her durum için ardışık üç tekrarı yapılmaktadır (Vanicek vd., 2013).

DOT 1: Gözler açık, platform ve zemin sabit.

DOT 2: Gözler kapalı, platform ve zemin sabit.

DOT 3: Gözler açık, platform hareketli ve zemin sabit.

DOT 4: Gözler açık, platform sabit ve zemin hareketli.

DOT 5: Gözler kapalı, platform sabit ve zemin hareketli.

DOT 6: Gözler açık, platform ve zemin hareketli.

2.2.2.2. Romberg Test

Be testte katılımcılardan ayakkabılarını çıkarıp ayaklarını birleştirmesi, gözlerini kapatması ve eller yanlarda olacak şekilde istenen pozisyonda 30 saniye (sn) durması istenmektedir. Bireylerin durabildiği süre bir kronometre (Xiaomi Corporation, Redmi 9C akıllı cep telefonu, Çin) ile kaydedildi. Bireyler dengelerini kaybettiklerinde, gözlerini açtıklarında veya ellerini kaldırdıklarında kronometre durdurulmuş ve bireylerin istenen pozisyonda durabilme süreleri not edildi (Forbes vd., 2023). Test 2 farklı kombinasyonda uygulanmıştır; sert zemin ve yumuşak zemin (foam pad; NeuroCom Balance Manager Systems, ABD)

2.2.2.3. Tandem Romberg Testi

Katılımcılardan yine ayakkabısız bir şekilde ancak Romberg testinden farklı olarak bir ayağının ucunu diğer ayağının topuğuna gelecek şekilde yerleştirmesi ve istenen pozisyonda gözler kapalı 30 sn durması istendi. Durabildikleri süre bir kronometre ile kaydedildi; dengelerini kaybettiklerinde, ayaklarını kıvıldattıklarında, gözlerini açtıklarında veya ellerini kaldırdıklarında kronometre durduruldu ve denge süresi not edildi (Forbes vd., 2023).

2.2.2.4. Tek Ayak Üstünde Durma Testi (TADT)

Katılımcılardan ayakkabısız tek ayak üzerinde ve gözler açık şekilde dengesini bozmadan ayakta durması istendi. Sonrasında test, gözler kapalı pozisyonda tekrarlandı. Bireylerin istenen pozisyonda (gözler açık/ gözler kapalı) dengesini kaybetmeden 30 saniye durması beklendi. Dengede durabilme süreleri kronometre ile kaydedildi; dengesini kaybettiğinde, ayağını indirdiğinde, yerdeki ayağını sektirdiğinde ve gözlerin kapalı olduğu pozisyonda gözlerini açtığında kronometre durduruldu. Test 3 kez tekrar edildi ve bu testlerin aritmetik ortalaması alınarak test skoru hesaplandı (Vellas vd., 1997).

2.2.2.5. Fonksiyonel Uzanma Testi (FUT)

FUT için katılımcılardan ayaklarını omuz hizasında açması ve bir mezuranın yerleştirildiği duvara paralel ve duvara temas etmeyecek şekilde ayakta durması istendi. Bireylerden mezura tarafındaki omzunu 90 derece fleksiyona getirmesi ve elini yumruk yapması istendi. Bireyin 3. interfalanks eklem seviyesi mezurada işaretlendi ve bireyden ayaklarını oynatmadan uzanabildiği kadar öne doğru uzanması istendi. Bireyin uzanabildiği maksimum mesafe mezurada tekrar işaretlendi. İlk ölçüm noktası ile son ölçüm noktası arasındaki mesafe santimetre cinsinden hesaplandı. Test 3 kez tekrar edildi. Son iki testte saptanan mesafelerin ortalaması alınarak testin skoru hesaplandı (Duncan vd., 1990).

2.2.2.6. Zamanlı Kalk ve Yürü Testi (ZKYT)

Katılımcılardan yüksekliği yaklaşık 50 cm olan bir sandalyeye oturması ve “başla” komutu ile ayağa kalkıp 3 metrelik yürüme parkurunu hızlı bir şekilde yürütmesi ve bitiş noktasından geri dönüp tekrar hızlı bir şekilde sandalyeye oturması istendi (Podsiadlo ve

Richardson, 1991). Zamanlı kalk ve yürü testi bireylere 2 kere uygulandı. İlk testte bireyin testi öğrenmesi amaçlandı. İkinci testi tamamlama süresi kronometre ile ölçüldü.

2.2.2.7. Tinetti Denge ve Yürüme Testi (TDYT)

İki bölümden oluşan Tinetti denge ve yürüme testi (TDYT), Mary Tinetti tarafından geliştirilmiştir (Tinetti, 1986). Bu bölümlerin puanlama ve değerlendirme kriteri farklıdır; Denge ile aktiviteleri içeren ilk bölüm 13 maddeden, yürüme ile ilgili aktiviteleri içeren ikinci bölüm 9 maddeden oluşur. Denge bölümündeki maddelere 0 ile 2 arasında skor verilirken yürüme bölümündeki maddelere 0 ile 1 arasında skor verilebilmektedir. Toplam skor 35 üzerinden hesaplanır (Tinetti, 1986).

2.2.2.8. Vizüel Analog Skala (VAS)

Katılımcıların dengesizlik şiddetleri VAS ile değerlendirildi. Kağıt üzerine çizilmiş olan 10 cm'lik bir çizginin uç noktaları 0 (dengesizlik yok) ile 10 (aşırı dengesizlik) şeklinde numaralandırıldı. Bireyden bu çizgi üzerinde kendi dengesizlik şiddetine uygun bir noktayı işaretlemesi istendi (Ek-1) (Wewers ve Lowe, 1990).

2.2.3. Makine Öğrenme Modellerinin Oluşturulması

Makine öğrenme modelleri için Python (Sürüm 3.7) programlama dili kullanıldı. Çalışmamızda denetimli öğrenme algoritmalarından K-EYK, naive bayes, karar ağacı, rastgele orman, DVM, lojistik regresyon, XGBoost ve YSA kullanıldı. Modeller için kullanılan parametreler Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Bu algoritmalar modellenirken verilerin 96'sı (%80) eğitim sürecinde, geri kalan 24'ü (%20) test sürecinde kullanıldı. Bireylerin yaşları, demografik bilgileri, ek hastalıkları ve denge testleri girdi (öznitelik) olarak tanımlandı. Hastaların düşme durumları ise çıktı (output) olarak tanımlandı. Çalışmada öznitelik olarak kullanılacak değişkenler istatistiksel analiz ve korelasyon matrisi ile belirlendi. İstatistiksel analizde $p < 0,05$ anlamlılık düzeyine sahip veriler öznitelik olarak belirlendi. Ayrıca bu özniteliklerin düşme durumuna etkisi korelasyon matrisi ile kontrol edildi. Çalışmamızda 5 farklı öznitelik kullanarak beş farklı model oluşturuldu; ÖZNİTELİK1 (anamnez, hastalıklar ve fiziksel özellikler), ÖZNİTELİK2 (fonksiyonel denge testleri), ÖZNİTELİK3 (ÖZNİTELİK1 ve ÖZNİTELİK2), ÖZNİTELİK4 (duyu organizasyonu testi) ve tüm öznitelikler kullanılarak oluşturulan tümÖZNİTELİK modelidir.

Çizelge 2.1. Modeller için kullanılan parametreler

Algoritma	ÖZNİTELİK 1	ÖZNİTELİK 2	ÖZNİTELİK 3	ÖZNİTELİK 4	tümÖZNİTELİK K
K- En Yakın Komşu	n_neighbors = 11, metric = 'minkowski', p = 2	n_neighbors = 16, metric = 'minkowski', p = 2	n_neighbors = 3, metric = 'minkowski', p = 2	n_neighbors = 1, metric = 'minkowski', p = 3	n_neighbors = 1, metric = 'minkowski', p = 2
Naive Bayes	Default				
Karar Ağacı	max_depth=5 criterion = 'entropy'	max_depth=10 criterion = 'entropy'	max_depth=5 criterion = 'entropy'	max_depth=4 criterion = 'entropy'	max_depth=5 criterion = 'entropy'
Rastgele Orman	n_estimators=100, max_depth=5 criterion = 'entropy'	n_estimators=100, max_depth=4 criterion = 'entropy'	n_estimators=100, max_depth=5 criterion = 'entropy'	n_estimators=100, max_depth=4 criterion = 'entropy'	n_estimators=100, max_depth=4 criterion = 'entropy'
Destek Vektör Makineleri Lojistik Regresyon	kernel = 'linear'		C=1.0, penalty='l2', solver='sag'	kernel = 'linear', C=0.1 Default	kernel = 'linear'
XGBoost	max_depth=2 eval_metric='mlogloss' learning_rate=0.01	max_depth=10 eval_metric='mlogloss' learning_rate=0.01	max_depth=2 eval_metric='mlogloss' learning_rate=0.01	max_depth=10 eval_metric='mlogloss' learning_rate=0.01	
Yapay Sinir Ağları	batch_size = 16	batch_size = 32	batch_size = 32	batch_size = 2	batch_size = 32

EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=3)
 Toplam 4 katmanlı, Giriş katmanı nöron sayısı: 8
 1. Gizli katman nöron sayısı: 6
 2. Gizli katman nöron sayısı: 4
 Çıktı katmanı nöron sayısı: 1, epoch: 1000, loss=binary_crossentropy,
 optimizer='adam', learning_rate=0.001

2.2.4. Model Performanslarının Değerlendirilmesi

Modellerin performansları test aşamasındaki başarı oranları ile değerlendirildi. Test aşamasındaki sonuçlara göre 2x2'lik hata matrisi oluşturuldu ve bu matrise göre doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1 skor ve ROC eğrisi (receiver operating characteristic curve) altında kalan alan (AUC) hesaplandı (Zhao vd., 2019).

Doğruluk: Doğruluk değeri, doğru tahmin edilen vakaların toplam vakalara oranını temsil eder.

$$Doğruluk = \frac{DP + YN}{DP + YP + DN + YN}$$

Kesinlik: Kesinlik değeri, doğru (hasta) olarak belirtilen vakaların gerçekte kaçının doğru olduğunu temsil eder.

$$Kesinlik = \frac{DP}{DP + NP}$$

Duyarlılık: Doğru olarak tahmin etmemiz gereken vakaların ne kadarını doğru tahmin ettiğimizi ifade eder.

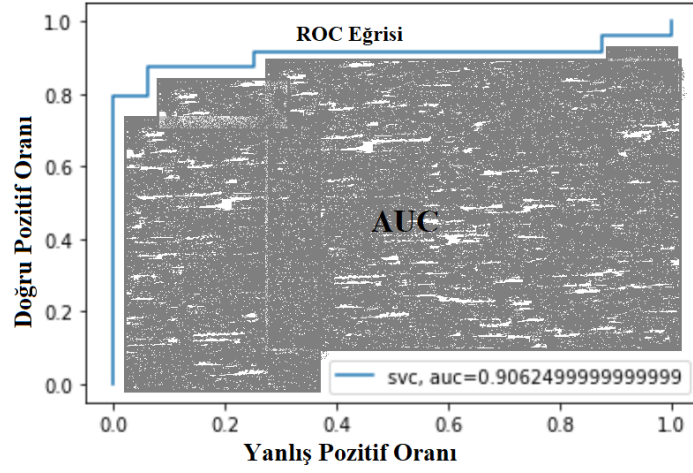
$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN}$$

F1 Skoru: Kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını ifade eder. Bu nedenle doğruluk değeri yerine de tek başına model performansını değerlendirmek için kullanılabilir.

$$F1 Skoru = 2 \times \frac{Kesinlik \times Duyarlilik}{Kesinlik + Duyarlilik}$$

DP: Doğru Pozitif, YP: Yanlış Pozitif, DN: Doğru Negatif, YN: Yanlış Negatif

ROC-AUC: ROC eğrisi, bir sınıflandırma modelinin performansını değerlendiren bir metriktir. Duyarlılık ve özgüllük gibi iki önemli metriği kullanarak, farklı karar eşiklerindeki performansı gösterir. AUC ise ROC eğrisinin altındaki alanı ifade eder ve modelin performansını tek bir sayıda özetler. AUC değeri 0 ile 1 arasında değişir, ne kadar yakınsa, modelin tahmin yeteneği o kadar iyidir. Örnek bir ROC eğrisi ve AUC Şekil 2.1’de sunulmuştur.



Şekil 2.1. ROC eğrisi ve bu eğrinin altında kalan alan (AUC)

2.2.5. Standardize Mini Mental Durum Değerlendirmesi

2002 yılında Gülgen vd. (2002) tarafından Türkçeye uyarlanan Standartize Mini Mental Durum Değerlendirmesi hatırlama, kayıt hafızası, lisan, dikkat ve hesaplamayı içeren beş ana bölümden, toplam on bir sorudan oluşmaktadır (toplam skor: 30 puan) (Ek-2).

2.2.6. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz IBM SPSS 21 ile gerçekleştirildi. İstatistiksel anlamlılık değeri 0,05 olarak kabul edildi. Shapiro Wilk testi normallik varsayımını test etmek için kullanıldı. Normal dağılan gösteren veriler ortalama $\pm$ standart sapma (ss) ile, normal dağılım göstermeyen veriler ortanca (min-max) ile sunuldu. İkili grupları karşılaştırmak için normallik varsayımlarının sağlandığı durumlarda Student T-test; varsayımların sağlanmadığı durumlarda ise Mann Whitney-U test kullanıldı.

3. BULGULAR

Çalışmamızda düşme hikayesi olmayan 65 yaşlı birey ve düşme hikayesi olan 55 yaşlı bireyin demografik özellikleri, hastalıkları, fonksiyonel denge testleri ve duyu organizasyon testi (DOT) bulguları sunuldu. Ayrıca bu bulguların makine öğrenme modellerine işlenmesi ile bulunan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-skoru ve ROC-AUC değerleri sunuldu.

Grup I'deki bireylerin 33'ü kadın, 32'si erkekti ve yaş ortalaması 69,13±4,58 idi. Grup II'deki bireylerin 37'si kadın, 18'i erkekti ve yaş ortalaması 70,20±4,70 idi. Gruplar arasında yaş ve cinsiyet açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Gruplara göre demografik bilgiler Çizelge 3.1'de sunuldu.

Çizelge 3.1. Gruplara göre demografik bilgiler

	Grup I, n=65 Ortalama±SS (Min-Max)	Grup II, n=55 Ortalama±SS (Min-Max)	p
Yaş (Yıl)	69,13±4,58 (65-79)	70,20±4,70 (65-79)	0,175 ^a
Cinsiyet (n)			0,068 ^b
<i>Kadın</i>	33 (%50,4)	37 (%76,3)	
<i>Erkek</i>	32 (%49,6)	18 (%32,7)	

a: Mann Whitney-U test, b: Ki-kare test

Gruplar arasında katılımcıların kiloları açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Grup II'deki bireylerin boyları Grup I'deki bireylere göre daha kısaydı ($p<0,05$). Ayrıca Grup II'deki bireylerin vücut kütle endeksi Grup I'deki bireylere göre daha fazlaydı ($p<0,05$). Bireylerin kilo, boy ve vücut kütle endeksi Çizelge 3.2'de sunuldu.

Çizelge 3.2. Bireylerin kilo, boy ve vücut kütle endeksi

	Grup I, n=65 Ortalama±SS	Grup II, n=55 Ortalama±SS veya Ortanca (Min-Max)	p
Kilo	73,81±11,67	72.23±12.51	0,476 ^a
Boy	165,29±8,73	156 (143-182)	<0,001 ^b
Vücut Kütle Endeksi	27,10±4,50	29,04±4,97	0,027 ^a

a: Bağımsız t testi, b: Mann Whitney-U testi

Tüm katılımcıların 59'u dengesizlik semptomuna, 57'si hipertansiyona, 28'si diyabetes mellitusa, 23'si hiperlipidemiye, 13'ü kalp damar hastalıklarına, 4'ü tiroide, 3'ü majör depresyon bozukluğuna ve 2'si prostata sahipti. Grup II'deki bireylerin dengesizlik şikayeti, diyabetes mellitus ve hipertansiyon durumu grup I'deki bireylere göre daha fazlaydı ($p<0,05$). Ayrıca grup II'deki bireylerin dengesizlik şiddeti ve süresi grup I'deki bireylere göre daha fazlaydı ($p<0,001$). Ancak gruplar arasında toplam ilaç sayısı, hiperlipidemi, kalp-damar hastalıkları, tiroid, majör depresyon bozukluğu ve prostat açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Gruplara göre bireylerin hastalıkları, dengesizlik semptomu özellikleri ve kullandıkları toplam ilaç sayıları Çizelge 3.3'te sunuldu.

Çizelge 3.3. Gruplara göre bireylerin hastalıkları, dengesizlik semptomu özellikleri ve kullandıkları toplam ilaç sayıları

	Grup I, n=65	Grup II, n=55	p
Toplam Kullanılan İlaç, Ortanca (Min-Max)	0 (0-5)	1 (0-10)	0,144 ^a
Dengesizlik Şikâyeti, n (%)	15 (%23,1)	44 (%80,0)	<0,001^b
Dengesizlik Şiddeti, Ortanca (Min-Max)	0 (0-5)	4 (0-8)	<0,001^a
Dengesizliğin Süresi (ay), Ortanca (Min-Max)	0 (0-36)	10 (0-120)	<0,001^a
Hastalıklar, n (%)			
Hipertansiyon	25 (%38,5)	32 (%58,2)	0,031^b
Diyabetes Mellitus	10 (%15,4)	18 (%32,7)	0,025^b
Hiperlipidemi	11 (%16,9)	12 (%21,8)	0,497 ^b
Kalp-Damar Hastalıkları	8 (%12,3)	5 (%9,1)	0,572 ^b
Tiroid	2 (%3,1)	2 (%3,6)	0,625 ^c
Major Depresyon Bozukluğu	2 (%3,1)	1 (%1,8)	0,660 ^c
Prostat	1 (%1,5)	1 (%1,8)	0,709 ^c

a: Mann Whitney-U test, b: Ki-kare test, c: Fisher exact test

Toplam 120 katılımcıdan 101'inin (%84,2) işitme kaybı olduğu görüldü. Grup II'deki bireylerin sağ ve sol kulak saf ses ortalaması (SSO) grup II'ye göre daha kötüydü ($p<0,001$), ancak gruplar arasında asimetric işitme kaybı birey sayısı açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Gruplara göre sağ ve sol kulak SSO değerleri, işitme kaybı dereceleri ve asimetric işitme kaybı olan birey sayısı Çizelge 3.4'te sunuldu.

Çizelge 3.4. Gruplara göre SSO değerleri, işitme kaybı dereceleri ve asimetrik işitme kaybına sahip birey sayıları

	Grup I, n=65 Ortanca (Min-Max)	Grup II, n=55 Ortalama±SS	p
Sağ Kulak SSO (dB)	40 (12,5-75)	57,48±24,60	<0,001 ^a
Sol Kulak SSO (dB)	41,25 (8,75-98,75)	53,85±22,61	<0,001 ^a
İşitme kayıplı birey sayısı n, (%)	51 (%78,5)	50 (%90,9)	<0,001 ^b
<i>Hafif dereceli</i>	35 (%53,8)	13 (%23,6)	
<i>Orta dereceli</i>	18 (%27,6)	12 (%21,8)	
<i>Orta-İleri dereceli</i>	3 (%4,6)	19 (%34,5)	
<i>İleri dereceli</i>	0 (%0)	5 (%9,1)	
<i>Çok İleri Dereceli</i>	0 (%0)	1 (%1,8)	
Asimetrik İşitme Kaybı (n)	14 (%21,5)	18 (%32,7)	0,167 ^b

a: Mann Whitney-U test, b: Ki-kare testi

Gruplar arasında Romberg testi açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Grup II'deki bireylerin gözler açık ve kapalı TADT, foam Romberg testi, tandem romberg testi, FUT ve ZKYT skorları Grup I'e göre daha kötüydü ($p<0,001$). Gruplara göre fonksiyonel denge testi skorları Çizelge 3.5'te sunuldu.

Çizelge 3.5. Gruplara göre fonksiyonel denge testi skorları

	Grup I, n=65 Ortalama±SS veya Ortanca (Min-Max)	Grup II, n=55 Ortalama±SS veya Ortanca (Min-Max)	p
Romberg Testi (sn)	30,00 (25,67-30,00)	30,00 (15,05-30,00)	0,287 ^a
Foam Romberg (sn)	30,00 (5,42-30,00)	11 (1,63-30,00)	<0,001 ^a
Tandem Romberg Testi (sn)	13,54 (2,37-30,00)	5,67 (1,11-30,00)	<0,001 ^a
Tek Ayak Üstünde Durma Testi			
<i>Gözler Açık</i>	16,82 (4,21-30,00)	4,85 (1,52-30)	<0,001 ^a
<i>Gözler Kapalı</i>	5,74 (1,34-30,00)	2,76 (0,30-16,15)	<0,001 ^a
Zamanlı Kalk ve Yürü Testi	8,34±1,36	10,08 (7,27-17,56)	<0,001 ^a
Fonksiyonel Uzanma Testi	29,32±5,08	22,71±5,32	<0,001 ^b
Tinetti Denge ve Yürüme Testi	35 (33-35)	33 (27-35)	<0,001 ^a

a: Mann Whitney-U testi, b: Bağımsız T testi

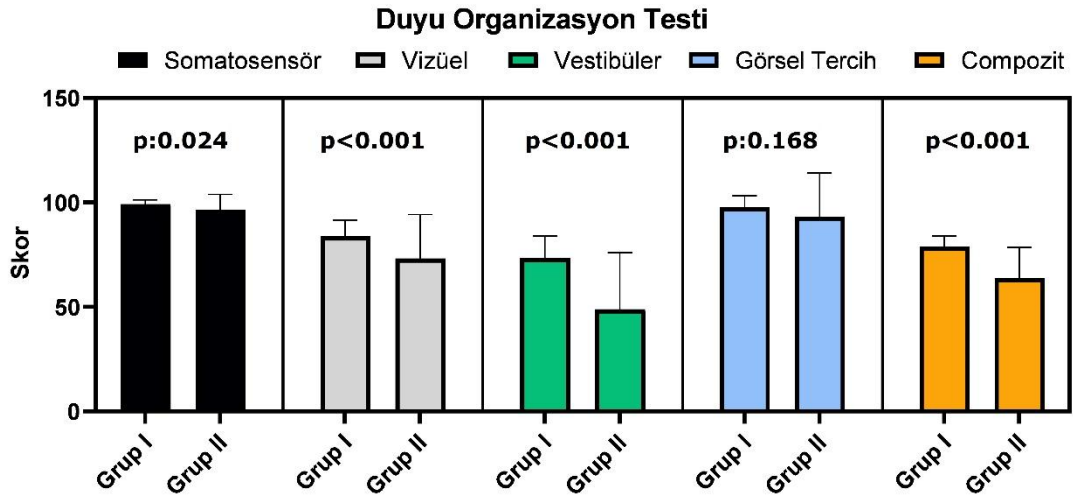
Grup II'deki bireyler DOT'un tüm durumlarında Grup I'deki bireylere göre daha kötü performans gösterdi ($p<0,001$). Gruplara göre DOT skorları Çizelge 3.6'da sunuldu.

Çizelge 3.6. Gruplara göre DOT skorları

	Grup I, n=65 Ortalama±SS veya Ortanca (Min-Max)	Grup II, n=55 Ortalama±SS veya Ortanca (Min-Max)	p*
DOT1	94,00 (88,34-96,67)	91,33 (60,66-97,00)	<0,001
DOT2	93,67 (85,67-96,67)	89,34 (58,00-96,67)	<0,001
DOT3	92,00 (81,34-97,34)	87,00 (0,00-95,67)	<0,001
DOT4	79,07±7,45	68,00 (0,00-97,00)	<0,001
DOT5	68,67 (39,34-86,34)	44,36±24,04	<0,001
DOT6	66,03±10,94	43,00 (0,00-93,00)	<0,001

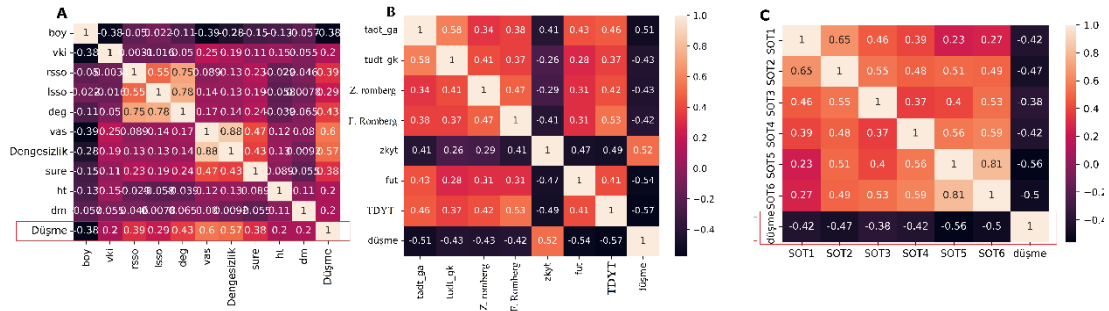
DOT: Duyu Organizasyon Testi, * Mann Whitney-U test

DOT testine göre Grup II'deki bireylerin somatosensör, vizüel, vestibüler ve kompozit skorları Grup I'e göre daha kötüydü ($p<0,05$). Ancak gruplar arasında görsel tercih açısından bir fark yoktu ($p>0,05$). Gruplara göre bireylerin somatosensör, vizüel, vestibüler, kompozit ve görsel tercih skorları Şekil 3.1'de sunuldu.



Şekil 3.1. Gruplara göre bireylerin somatosensör, vizüel, vestibüler, kompozit ve görsel tercih skorları.

Makine öğrenme modellerinde kullanılacak olan inputlar ile korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Korelasyon matrisine ait ısı haritası Şekil 3.2'de sunuldu.



Şekil 3.2. Makine öğrenmesinde kullanılacak inputların ısı haritası

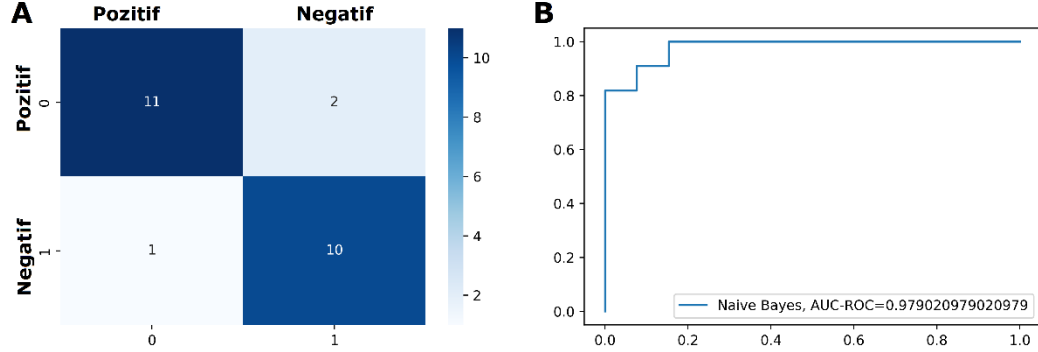
(A: Ek hastalıklar, boy, Vücut kütle endeksi, işitme kaybı dereceleri, dengesizlik özellikleri. B: Fonksiyonel denge testleri. C: Duyu organizasyon testi. Kısaltmalar: vki: Vücut kütle endeksi, rsso: Sağ saf ses ortalaması, lssso: Sol saf ses ortalaması, deg: İşitme kaybı dereceleri, vas: Dengesizlik şiddeti, Dengesizlik: Dengesizlik durumu, Süre: Dengesizlik süresi, ht: Hipertansiyon, dm: Diyabetes Mellitus, tadt_ga: Gözler açık tek ayak üstünde durma testi, tadt_gk: Gözler kapalı tek ayak üstünde durma testi, Fromberg: Foam pad Romberg, zkyt: Zamanlı kalk ve yürü testi, fut: Fonksiyonel uzanma testi, f.Romberg: Foam Romberg, TDYT: Tinetti denge ve yürüme testi, SOT: Duyu Organizasyon testi)

Boy, VKİ, SSO, dengesizlik durumu, süresi ve şiddeti, işitme kaybı dereceleri, hipertansiyon ve diyabetes mellitus INPUT1 olarak kullanıldı. Bu veriler kullanılarak en yüksek doğruluk oranına %87,5 ile K- En Yakın Komşu, Naive Bayes, Rastgele Orman, XGBoost ve yapay sinir ağları ulaştı. Beş algoritma içerisinde en yüksek AUC-ROC değerine 0,979 ile Naive Bayes algoritması sahipti. ÖZNİTELİK1 ile oluşturulan modellerin test başarısı Çizelge 3.7’de sunuldu.

Çizelge 3.7. ÖZNİTELİK1 ile oluşturulan modellerin test başarısı

Kullanılan algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F1-score	Doğruluk	AUC- ROC
K- En Yakın Komşu	0,90	0,82	0,86	0,8750	0,933
Naive Bayes	0,83	0,91	0,87	0,8750	0,979
Karar Ağacı	0,73	0,73	0,73	0,7550	0,748
Rastgele Orman	0,91	0,91	0,91	0,8750	0,951
Destek Vektör Makineleri	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,972
Lojistik Regresyon	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,972
XGBoost	0,90	0,82	0,86	0,8750	0,937
Yapay Sinir Ağları	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,832

ÖZNİTELİK1/Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi Şekil 3.3'te sunuldu.



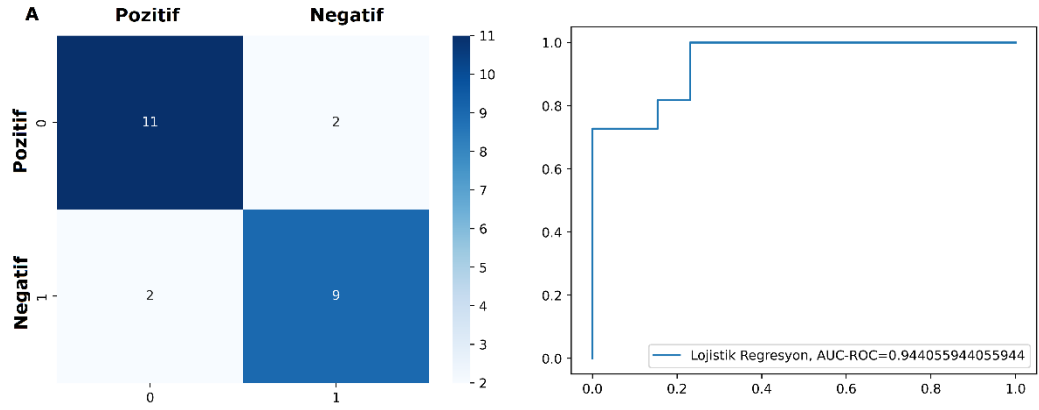
Şekil 3.3. ÖZNİTELİK1/Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi

Fonksiyonel denge testleri skorları ÖZNİTELİK2 olarak kullanıldı. Bu veriler kullanılarak en yüksek doğruluk oranına %83,5 ile Naive Bayes, K- En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri, yapay sinir ağları ve Lojistik Regresyon ulaştı. Dört algoritma içerisinde en yüksek AUC-ROC değerine 0,944 ile Lojistik Regresyon algoritması sahipti. ÖZNİTELİK2 ile oluşturulan modellerin test başarıları Çizelge 3.8’de sunuldu.

Çizelge 3.8. ÖZNİTELİK2 ile oluşturulan modellerin test başarıları

Kullanılan algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F1-score	Doğruluk	AUC- ROC
K- En Yakın Komşu	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,898
Naive Bayes	0,77	0,91	0,83	0,8334	0,937
Karar Ağacı	0,78	0,64	0,70	0,7500	0,842
Rastgele Orman	0,75	0,82	0,78	0,7916	0,951
Destek Vektör Makineleri	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,930
Lojistik Regresyon	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,944
XGBoost	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,881
Yapay Sinir Ağları	0,80	0,73	0,76	0,7916	0,786

ÖZNİTELİK2/ Lojistik Regresyon ait hata matrisi ve ROC eğrisi Şekil 3.3’te sunuldu.



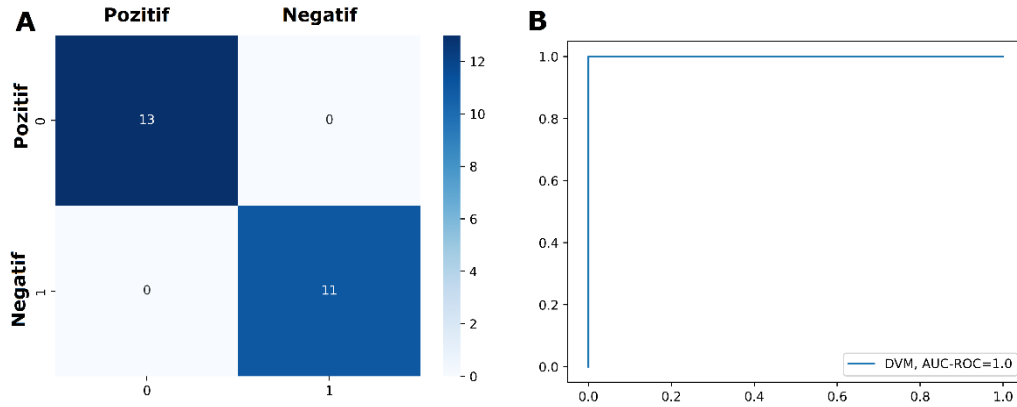
Şekil 3.4. ÖZNİTELİK2/ Lojistik Regresyon algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi

Anamnez, hastalıklar, fiziksel özellikler ve fonksiyonel denge testleri ÖZNİTELİK3 olarak kullanıldı. Bu veriler kullanılarak en yüksek doğruluk oranına %100 ile DVM algoritması ulaştı. ÖZNİTELİK3 ile oluşturulan modellerin test başarısı Çizelge 3.9’da sunuldu.

Çizelge 3.9. ÖZNİTELİK3 ile oluşturulan modellerin test başarısı

Kullanılan algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F1-score	Doğruluk	AUC- ROC
K- En Yakın Komşu	1,00	0,82	0,90	0,9166	0,979
Naive Bayes	0,85	1,00	0,92	0,9166	0,986
Karar Ağacı	0,82	0,82	0,82	0,8334	0,832
Rastgele Orman	0,91	0,91	0,91	0,9166	0,972
Destek Vektör Makineleri	1,00	1,00	1,00	1,0000	1,000
Lojistik Regresyon	0,77	0,91	0,83	0,8334	0,965
XGBoost	0,91	0,91	0,91	0,9166	0,940
Yapay Sinir Ağları	0,85	1,00	0,92	0,9166	0,923

ÖZNİTELİK3/DVM algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi Şekil 3.5’te sunuldu.



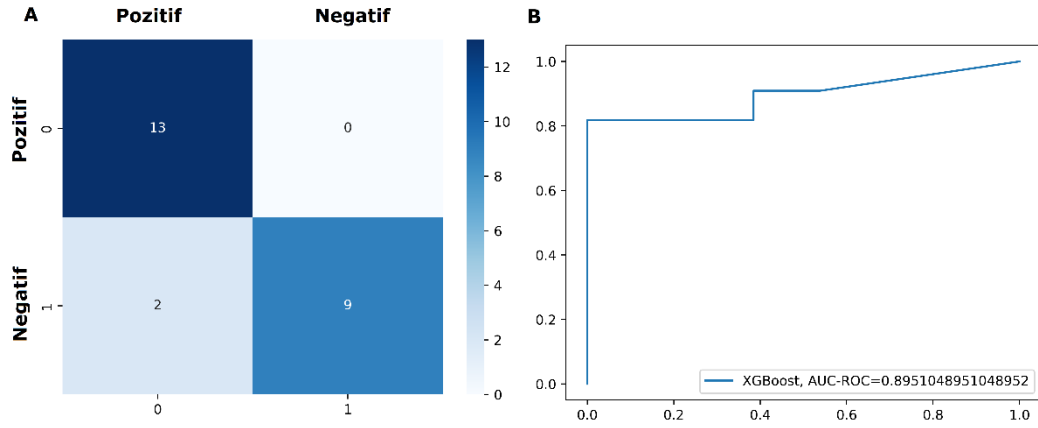
Şekil 3.5. A: ÖZNİTELİK3/ Destek Vektör Makineleri algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi

DOT değerleri ÖZNİTELİK4 olarak kullanıldı. Bu veriler kullanılarak en yüksek doğruluk oranına %91,6 ile XGBoost ulaştı. ÖZNİTELİK4 ile oluşturulan modellerin test başarıları Çizelge 3.10’da sunuldu.

Çizelge 3.10. ÖZNİTELİK4 ile oluşturulan modellerin test başarıları

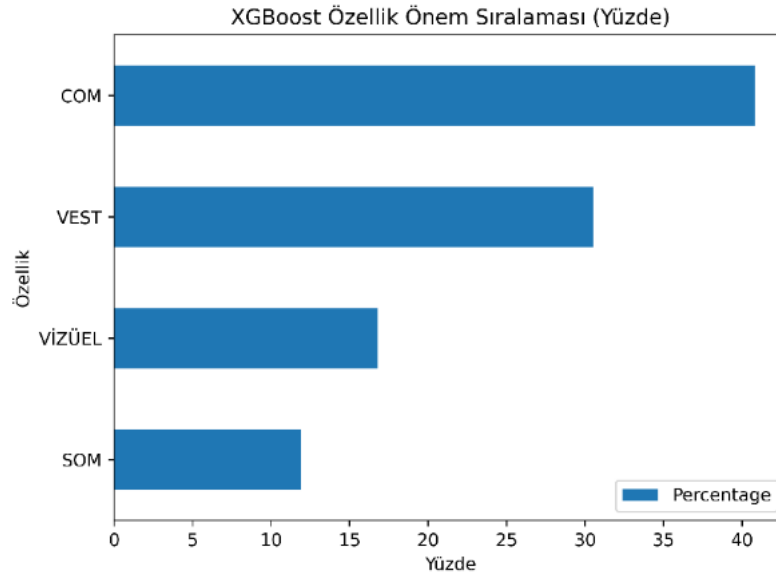
Kullanılan algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F1-score	Doğruluk	AUC- ROC
K- En Yakın Komşu	0,89	0,73	0,80	0,8334	0,825
Naive Bayes	1,00	0,73	0,84	0,8750	0,930
Karar Ağacı	0,89	0,73	0,80	0,8334	0,814
Rastgele Orman	0,89	0,73	0,80	0,8334	0,888
Destek Vektör Makineleri	0,88	0,64	0,74	0,7916	0,867
Lojistik Regresyon	0,88	0,64	0,74	0,7916	0,867
XGBoost	1,00	0,82	0,90	0,9166	0,895
Yapay Sinir Ağları	0,90	0,82	0,86	0,8750	0,871

ÖZNİTELİK4/XGBoost algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi Şekil 3.6’da sunuldu.



Şekil 3.6. A: ÖZNİTELİK4/XGBoost algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi

DOT değerlerine göre hesaplanan somatosensör, vizüel, vestibüler ve kompozit skorlarının XGBoost algoritmasına göre önem sıralaması Şekil 3.7’de sunuldu. Grafığe göre en yüksek önem derecesi %54,39 ile kompozit skora, en düşük önem derecesi %10,39 ile somatosensör skora aitti.



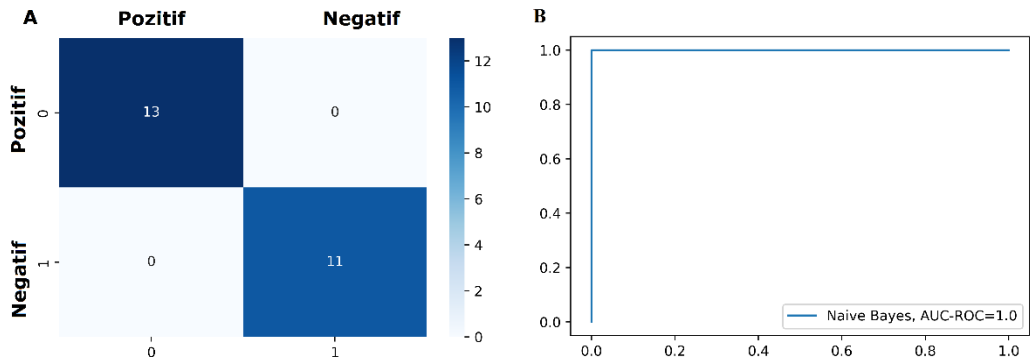
Şekil 3.7. Düşme durumuna etki eden sistemlerin önem derecesi

İstatistiksel analizde anlamlı çıkan tüm inputlar kullanılarak (tümÖZNİTELİK) beşinci model oluşturuldu. Kullanılan veriler ile en yüksek doğruluk oranına %100 ile Naive Bayes ulaşı. tümÖZNİTELİK ile oluşturulan modellerin test başarısı Çizelge 3.11’da sunuldu.

Çizelge 3.11. tümÖZNİTELİK’ler oluşturulan modellerin test başarısı

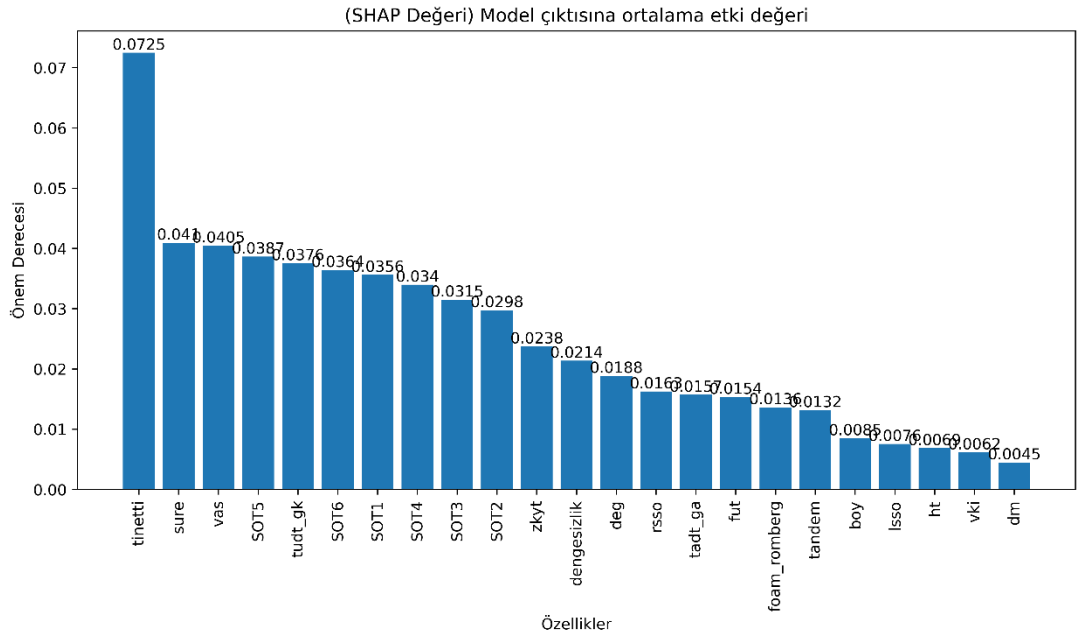
Kullanılan algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F1-score	Doğruluk	AUC- ROC
K- En Yakın Komşu	1,00	0,82	0,90	0,9166	0,909
Naive Bayes	1,00	1,00	1,00	1,0000	1,000
Karar Ağacı	1,00	0,91	0,95	0,9583	0,975
Rastgele Orman	0,90	0,82	0,86	0,8750	0,972
Destek Vektör Makineleri	0,89	0,73	0,80	0,8334	0,937
Lojistik Regresyon	0,78	0,64	0,70	0,7500	0,881
XGBoost	0,91	0,91	0,91	0,9166	0,993
Yapay Sinir Ağları	1,00	0,73	0,84	0,8750	0,863

tümÖZNİTELİK/ Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi Şekil 3.8’de sunuldu.



Şekil 3.8. A: tüm ÖZNİTELİK/Naive Bayes algoritmasına ait hata matrisi ve ROC eğrisi

Tüm nitelikler kullanılırken düşme durumuna etki büyüklüğünü belirlemek için SHapley Additive ExPlanations (SHAP) kütüphanesi kullanıldı. SHAP sonucuna göre Naive Bayes algoritması ile düşme durumunu tahmin ederken en büyük etkiyi 0,0725 TDYT sağladı. Naive Bayes algoritmasında yirmi üç nitelik kullanılırken düşme riskini tahmin eden etki büyüklükleri Şekil 3.9’da sunulmuştur.



Şekil 3.9. Naive Bayes algoritmasında yirmi üç nitelik kullanılırken düşme riskini tahmin eden etki büyüklükleri

4. TARTIŞMA

Dengesizlik ve düşmeler, yaşlı bireylerin karşılaştığı en önemli klinik sorunlardandır. Düşmeler yüksek oranda mortalite ve morbidite nedenidir. Dengesizlik ve düşme korkusu yaşlı bireylerde hareketsizliğe, sosyal izolasyona, özgüven kaybına, kaygıya ve yaşam kalitesinde azalmaya neden olur. Düşmeye bağlı yaralanmalar, yaşlılarda en önemli ölüm nedenlerinden biri olan kasıtsız yaralanmaların üçte ikisini oluşturmaktadır. Dahası, düşmelere bağlı olarak hastaneye başvuran yaşlı bireylerin yarısı, ortaya çıkan komplikasyonlar sebebiyle bir yıl içinde yaşamını yitirmektedir (Rubenstein, 2006). Bu nedenle yaşlı bireylerde düşme riskinin belirlenmesi düşmeleri önlemek için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bilgisayarlı dinamik postürografi ve fonksiyonel denge testleri kullanılarak makine öğrenmesinde düşme riskinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamızda düşen yaşlı bireylerin fonksiyonel uzanma testi (FUT), zamanlı kalk ve yürü testi (ZKYT), foam Romberg, zorlaştırılmış Romberg, gözler açık ve kapalı tek ayak üstünde durma testi (TADT), Tinetti denge ve yürüme testi (TDYT) ve duyu organizasyon testi (DOT) skorları düşmeyen yaşlılara göre daha kötüydü ($p<0,05$). Ayrıca düşen yaşlı bireyler düşmeyen yaşlı bireylere göre daha fazla hipertansiyona, diyabetes mellitusa, işitme kaybına, dengesizlik semptomuna ve yüksek vücut kitle endeksine (VKİ) sahipti ($p<0,05$). Düşme için risk faktörü olarak tespit edilen bu durumlar makine öğrenmesinde kullanıldı. Verilerin %80'i ($n=96$) ile makine öğrenme modelleri eğitildi ve geriye kalan %20 ($n=24$) veri bu modeller ile test edildi. Bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden Naive Bayes düşme riskini %87,5 başarı ile tahmin etti. Bireylerin fonksiyonel denge skorları kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden Lojistik regresyon düşme riskini %83,3 başarı ile tahmin etti. Bireylerin hem hastalıkları ve fiziksel özellikleri hem de fonksiyonel denge skorları kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden DVM, düşme riskini %100 başarı ile tahmin etti. DOT verileri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden XGBoost ise düşme riskini %91,6 başarı ile tahmin etti.

Yaşlanma ile düşme riskinin ve yaygınlığının arttığı bilinmektedir. Yaşlanmanın neden olduğu görme sistemindeki bozulma, işitme kaybı, bilişsel gerileme, kas tonusunun ve reflekslerin azalması düşme riskini artırmaktadır. Altmış beş yaş üstü bireylerin yaklaşık %30'u her yıl düşmektedir ve düşen bu bireylerin yaklaşık yarısında düşmeler nüks

etmektedir (Akyol, 2007). Bu oran 85 yaş ve üzeri bireylerde ise %40'a ulaşmaktadır (Akyol, 2007). Biz çalışmamıza 65-79 yaş arası yaşlı bireyleri dahil ettik. Yetmiş dokuz yaş üstü bireyleri ise DBP normatif verilerinin olmaması ve uyguladığımız testlerin zorlayıcı olması nedeniyle çalışmaya dahil etmedik. Bu bireyleri düşmeyenler (grup I) ve düşenler (grup II) olarak iki gruba ayırdık. Çalışmamıza dahil edilen toplam 120 yaşlı bireylerin 55'i (%45,8) düşmüştü. Düşen yaşlı bireyler ile düşmeyenler arasında yaş açısından bir fark olmadığı görülmüştür ($p=0,175$). Çalışmamızda düşen ve düşmeyen bireyler arasında bir fark olmaması yaş aralığını sınırlandırmamız (65-79) ile açıklanabilir.

Kadınların erkeklere göre daha fazla düştüğü ve kadınlarda düşmelere bağlı daha fazla kırık olduğu bilinmektedir. Bu farklılığın nedeni tam olarak anlaşılamamasına rağmen çeşitli görüşler öne sürülmektedir (Gale vd., 2016; Johansson vd., 2016). Kadınlarda menopoza bağlı olarak kemik mineral yoğunluğu azalmaktadır. Kemik mineral yoğunluğunun azalması kadınların daha fazla düşmesine ve düşmelere bağlı daha fazla kırık oluşmasına neden olabilir (Gale vd., 2016). Diğer taraftan yaşlanma kadınların bilişsel performanslarını, dikkat durumlarını ve çift görev performansını erkeklere göre daha fazla etkilemektedir (Johansson vd., 2016). Yapılan bir çalışmada yaşlı kadınların çift görev sırasında yürüyüşlerinin erkeklere göre daha fazla bozulduğu belirtilmiştir (Johansson vd., 2016). Çift görev sırasında dikkat kaynakları bölünmekte ve buna bağlı olarak hata oranları artmaktadır. Bu nedenle çift görev performansı, dikkati değerlendirmenin yanı sıra düşme riskini belirlemek için de kullanılmaktadır. Çift görev sırasında yaşlı kadınların yürüyüşünde daha fazla bozulma olması çeşitli hipotezler ile açıklanabilir. Kadınların çift görevin motor fazına bilişsel fazına göre daha fazla dikkat ayırması ve yaş ilerledikçe kadınların yürütücü işlevlerinin erkeklere göre daha fazla bozuluyor olması hipotezlerden bazılarıdır (Johansson vd., 2016). Yaşlı bireylerde düşme ile cinsiyet arasındaki ilişkiyi araştıran bir çalışmada, cinsiyetler arasında düşme risklerinin de farklılaşa bildiği belirtilmiştir (Gale vd., 2016). Çalışmaya göre düşmeler erkeklerde depresyon, yaşlanma ve denge skorlarının azalması ile ilişkilendirilirken kadınlarda idrar kaçırma ve kırılabilirlik ile ilişkilendirilmiştir. Diğer taraftan kadınlar ile erkeklerin düştüğü yerler de farklılık göstermektedir. Erkeklerin daha fazla ev dışında düştüğü bildirilirken kadınların ev içerisinde düştüğü bildirilmiştir (Duckham vd., 2013). Benzer olarak çalışmamızda kadınların erkeklere oranla daha fazla düştüğü tespit edildi (%67,3'e karşı %50,4), ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildi.

Beslenme alışkanlıklarının değişmesi ve artan sedanter yaşam obezite yaygınlığını artırmaktadır. Obezite yaygınlığını artıran diğer bir faktör ise yaşlanmadır. Yaşlanma ile vücutta depolanan yağ kütlesinde artış gözlenir. Günümüzde 60 yaş üstü bireylerin %40'ından daha fazlasının obez olduğu tahmin edilmektedir (Hales vd., 2018). Obezite ve komplikasyonları birçok hastalığa neden olmakta ve bireylerin günlük yaşamını etkilemektedir. Dahası obezite yaşlı bireylerde düşme riskini artırmaktadır. Mijangos vd. (2019), VKİ arttıkça yürüyüşün bozulduğunu ve dengeyi korumanın zorlaştığını belirtmiş ve bu faktörlere bağlı olarak düşmelerin arttığını bildirmiştir. Benzer olarak bizim çalışmamızda düşen yaşlıların VKİ'si düşmeyen yaşlılara göre daha fazlaydı ($p=0,027$). Dengenin sağlanması için vizüel, proprioseptif ve vestibüler duyuların doğru olarak çalışması ve uygun şekilde merkezi sinir sisteminde işlenmesi gerekmektedir (Salamon, 2012). VKİ'nin artması bireylerin kas iskelet sistemini etkileyebilir ve vücudun ağırlık merkezini (geometrisini) değiştirebilir. Ayrıca Son (2016), yaptığı çalışmada genç obez bireylerde ayakların çok fazla basınca maruz kaldığını ve buna bağlı olarak ayaktaki proprioseptif inputların duyarsızlaştığını bildirmiştir (plantar duyarsızlaşma). Ancak bizim çalışmamızda düşen ve düşmeyen bireyler arasında kilo açısından bir fark yoktu. Gruplar arasında VKİ açısından oluşan fark boydan kaynaklanmaktaydı, yani boyu kısa olanların düşme riski daha fazlaydı ($p<0.001$). Biz, Son'un çalışmasından farklı olarak yaşlı bireyleri çalışmamıza dahil ettik. Yaşlanma ile refleksler azalmakta ve duyular atrofiye olmaktadır. Dolayısı ile bu bireylerde yaşlanmaya bağlı proprioseptif duyularda kötüleşme zaten mevcuttur (Ferlinc vd., 2019). Yani, çalışmamızda VKİ'si fazla olan bireylerde düşmelerin gözlenmesi aşırı kiloyla veya plantar duyarsızlaşma ile açıklanamamaktadır. Çalışmamızda VKİ'si fazla olan bireylerde düşme riskinin daha fazla olmasının muhtemel nedeni vücut geometrisi ve yürüyüşün değişmesi olarak yorumlanmıştır.

Yaşlı bireylerde düşmelere neden olan risk faktörleri karmaşıktır. Vertigo, kas iskelet sistemi bozuklukları ve görme bozuklukları gibi bilinen risk faktörlerinin yanında kullanılan ilaçlar veya düşmeler ile ilgisiz gibi görünen hastalıklar da düşmelere neden olabilir. Bir bireyin düşmesi genellikle bu risk faktörlerinin kombinasyonundan kaynaklanır. Artrit, diyabetes mellitus, hipertansiyon ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi bazı hastalıkların yaşlı bireylerde düşme riskini artırdığı belirtilmiştir (Sibley vd., 2014). Dahası kronik hastalık sayısı arttıkça bireylerin sağlık durumu daha da kötüleşir ve düşme riski buna bağlı olarak artar (Sibley vd., 2014). Kronik hastalıklara benzer şekilde ilaç kullanımı da düşme riskini artırmaktadır. İlaçlar özellikle merkezi sinir sistemini etkilemekte; beyin perfüzyonunu, reaksiyon süreçlerini ve dengeyi bozabilmektedir. Literatürde, belirli ilaçların

kullanımı (opioidler, benzodiazepinler, diüretikler, vazodilatörler vb.) ile beşten (adet) daha fazla ilaç kullanımının yürüme ve denge bozukluklarına neden olduğu ve düşme oranlarını artırdığı belirtilmiştir (Morris vd., 2004). Çalışmamızda literatürle benzer şekilde dengesizlik semptomunun, hipertansiyonun, diyabetes mellitusun ve işitme kaybının düşme için risk faktörü oluşturduğu tespit edildi. Ancak gruplar arasında kullanılan toplam ilaç sayısı, hiperlipidemi, depresyon, kalp-damar hastalıkları, tiroid ve prostat açısından fark yoktu ($p>0,05$). Morris vd. (2004), 1000 yaşlı bireyi son bir yıl içinde 1 kere düşen, son bir yıl içerisinde birden daha fazla düşen ve son bir yıl içerisinde düşmeyen bireyler olarak 3 gruba ayırdı ve düşme için risk faktörlerini araştırdı. Araştırmacılar, çoklu ilaç kullanımının son bir yıl içerisinde 1 kere düşenler için bir risk faktörü olmadığını ancak birden fazla düşenler için 5'ten daha fazla ilaç kullanımının bir risk faktörü olduğunu belirtti. Biz çalışmamıza son bir yıl içerisinde en az 1 defa düşenleri dahil ettik ve düşen ve düşmeyen bireyler arasında ilaç kullanımı açısından bir fark saptamadık ($p>0,05$). Dolayısı ile Morris vd.'nin (2004) de belirttiği gibi çoklu ilaç kullanımı tekrarlı düşmelere neden olurken bir defa düşmeyi etkilemiyor olabilir. Yaşlanma ile birlikte kan basıncı homeostazisi bozulmakta ve hipertansiyon bu bozulmayı hızlandırmaktadır (Hausdorff vd., 2003). Kan basıncındaki geçici bozulmalar düşmelere neden olabilir. Diyabetes mellitus ise çoklu nöropatlilere neden olmakta ve duyu algısı ile refleksleri kötüleştirmektedir. Dolayısı ile hem hipertansiyon hem de diyabetes mellitus düşme riskini artırmaktadır. İşitme ise vestibüler sistem ile ilişkilidir. Aynı bölgeye yerleşmiş her iki organ anatomik ve filogenetik benzerlikler göstermektedir. Dolayısı ile birindeki bozulmalar diğer organı etkileyebilmektedir.

Düşmeler çoklu faktörlere dayanan ve kronik engellere neden olan istenmeyen durumlardır. Düşme için var olan risk faktörleri ile düşme durumu (düştü veya düşmedi) makine öğrenme algoritmaları ile tahmin edilebilir. Böylelikle düşme riski olan bireylere özel önleyici çeşitli programlar oluşturulabilir. Literatürde makine öğrenmesi ve düşme ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle düşme durumunu tespit etmeye odaklanmıştır (Usmani vd., 2021). Düşme riskini tahmin etmeyi amaçlayan makine öğrenmesi çalışmalarında ise genellikle elektronik sağlık kayıtları, anketler, ölçekler, hastane kabul değerlendirmeleri, ZKYT ve otur-kalk testi kullanılmıştır (Yadav vd., 2023). Thapa vd. (2022) tarafından elektronik sağlık kayıtları kullanılarak yapılan retrospektif bir çalışmada 2785 bireyin verisi kullanılmıştır. Bu bireylere ait yaş, cinsiyet, hastalıklar, kullanılan ilaçlar gibi 68 nitelik ile bireylerin düşme riski makine öğrenmesi ile tahmin edilmiştir. Çalışmada Extreme Gradient Boosting'in %84,8 sensitivite ve %70,6 spesifite ile en iyi algoritma olduğu belirtilirken eksik ve dengesiz dağılan verilerin çalışmayı kısıtladığı bildirilmiştir. Ikeda vd.'nin (2022)

depresif belirtiler, yaş, sağlık durumu ve idrar kaçırma gibi 14 niteliği kullanarak XGBoost ve rastgele orman algoritmalarının başarı oranlarını değerlendirdiği çalışmada, XGBoost modelinin %88 doğruluk oranı ile düşmeleri tahmin ettiğini bildirmiştir. Biz çalışmamızda, düşme için risk faktörü olan hastalıklar ve fiziksel özellik verilerini kullanarak (ÖZNİTELİK1) makine öğrenme modeli oluşturduk. Bu veriler VKİ, boy, diyabetes mellitus, hipertansiyon, işitme kaybı ve dengesizlik semptomu gibi 10 nitelikten oluşmaktaydı. Çalışmamızı prospektif olarak gerçekleştirdiğimiz için verilerimiz dengeliydi ve eksik verimiz yoktu. Çalışmamızda İkedo vd.'nin doğruluk oranına yakın bir değer olan %87,5 (Naive Bayes) ile düşmeleri tahmin ettik.

Tek ayak üstünde durma, uzanma ve yürüme gibi becerileri içeren fonksiyonel denge testleri, modifiye edilebilir olması ve kolay uygulanabilmesi nedeniyle düşmeleri değerlendirmek için sıklıkla kullanılmaktadır. TADT ile proprioseptif girdi azaltılmakta ve test gözler açık ve kapalı şekilde uygulanabilmektedir. Bu nedenle TADT, düşenler ile düşmeyenler arasında ayırım yapma ve düşmeleri tahmin etmede aletsiz denge testleri arasında en yararlı olanı olarak kabul edilmektedir (Kozinc vd., 2020). ZKYT'de kuvvet, denge ve yürüme değerlendirilmesi nedeniyle oldukça kullanışlıdır. Diğer taraftan FUT, gövde esnekliğinden ve nöromüsküler kontrolden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle dengenin değerlendirilmesinde FUT'un iyi bir belirteç olmadığı belirtilmiştir (Kozinc vd., 2020). Literatürde yapılan araştırmalarda bu testlerin bazı kısıtlılıkları olduğu belirtilmiştir (Kozinc vd., 2020; Park, 2018). Barry vd'nin (2014) gerçekleştirdiği bir meta analiz çalışmasında yaşlılar için ZKYT testinin kesme değeri 13,5 olarak kabul edilmiş ve testin düşmeyi belirlemedeki spesifitesi %74 ve sensitivitesi %31 olarak belirlenmiştir. Behrman vd. (2002) Parkinson hastalarında FUT'un kesme değerini 25,4 olarak kabul etmiş ve testin düşmeyi belirlemedeki spesifitesi %92 ve sensitivitesi %30 olarak tespit edilmiştir. Başka bir meta analiz çalışmasında ise Berg Denge Ölçeğinin istikrarlı ve yüksek spesifiteye sahip olduğu; ZKYT ve Tinetti denge ölçeğinin ise düşük spesifiteye sahip olduğu belirtilmiştir (Park, 2018). Yazarlar yaşlılarda düşmelerin birçok faktöre bağlı olarak geliştiğini belirtmiş ve düşme riskini belirlemek için tek bir testin yerine, iki farklı testin uygulanmasını önermişlerdir. Biz çalışmamızda yaşlı bireylere gözler açık ve kapalı TADT, Romberg, foam Romberg, zorlaştırılmış Romberg, ZKYT, TDYT ve FUT uyguladık. Düşen bireylerin gözler açık ve kapalı TADT, foam Romberg, zorlaştırılmış Romberg, ZKYT, TDYT ve FUT skorları düşmeyen bireylere göre daha kötüydü ($p<0,05$). Çalışmamızda testlerin performansını kesme değerleri ile teker teker değil, literatürde de önerildiği gibi (Park, 2018) çoklu şekilde makine öğrenme algoritmaları ile değerlendirdik.

Son zamanlarda makine öğrenmesine olan ilgi artmış ve fonksiyonel denge testlerini makine öğrenmesinde kullanarak düşme riskini tahmin eden bazı çalışmalar yapılmıştır (Fahimi vd., 2021; Sheng vd., 2022; Ziegl vd., 2020). Düşme riskini belirlemek için makine öğrenme tabanlı yaklaşımların temel özellikleri şunlardır; önyargıdan kaçınırken çok çeşitli performans endeksleri aracılığıyla düşmelerin çok faktörlü doğasını inceleyebilme yeteneği ve niteliklerin önem analizini belirlemedir (Fahimi vd., 2021). Fahimi vd. (2021) 80 yaşlı bireye üç fonksiyonel test uygulamış (kuvvet üretim, postüral salınım ve yürüyüş değerlendirmesi) ve bu testlerin verilerini kullanarak makine öğrenme modelleri oluşturmuştur. Yazarlar en yüksek doğruluk oranına %74,50 ile K-EYK algoritması ile ulaşmışlardır. Ziegl vd. (2020) huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerin ZKYT verileri ile rastgele orman algoritması modeli oluşturmuş ve %96,9 ROC-AUC oranı ile düşmeyi tahmin edebildiklerini belirtmiştir. Sheng vd. (2022) 215 yaşlı bireyin anket bulgularını, fonksiyonel performans testlerini ve fiziksel uygunluk testlerini 7 farklı makine öğrenme algoritmasında kullanmış; doğruluk oranlarının 0,933 ile 0,950 arasında; F1 skorunun ise 0,951 ile 0,955 arasında olduğunu ve en iyi performansı karar ağaçları modelinin sunduğunu bildirmiştir. Başka bir çalışmada, Tongterm vd. (2015) fonksiyonel fitness testlerini makine öğrenmesinde kullanmış ve karar ağacı modeli ile düşme riskini tahmin etmeyi hedeflemiştir. Yazarlar modelin doğruluğunu 0,95; özgüllüğünü ise 0,55 olarak tespit etmişlerdir.

Model performansları değerlendirilirken doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve özgüllük arasında bir denge olmalıdır. Bu denge, hastaların kaçını hasta olarak belirleyebildiğimizi veya sağlam olan bireylerin kaçını sağlam olarak tespit edebildiğimizi gösterir. Düşme riski içinde durum benzerdir. Sadece düşme riski olan bireyleri (risk var) yüksek başarı ile tahmin etmek tek başına yetersizdir. Aynı zamanda düşme riski olmayanları da yüksek oranda (risk yok) olarak tespit etmek gereklidir. Gerçekte düşme riski olmayan bireylerin “düşme riski var” olarak tespit edilmesi, bu bireylere uygulanacak olan bireyselleştirilmiş stratejilerin (egzersiz, ergonomi veya tedavi) gereksiz uygulanmasına yol açacaktır. Dolayısı ile bu durum yaşlı bireyler ve sigorta şirketleri için ekonomik kayba ve sağlık sistemi için kaynak israfına neden olmaktadır. Çalışmamızda fonksiyonel denge testi verilerini kullandığımız modellerden lojistik regresyon %83,34 başarı oranına ulaştı. Ayrıca bu modelin kesinlik, F1-skoru ve duyarlılığı da dengeliydi (%82). Ancak makine öğrenmesinde fonksiyonel denge testi verileri ile elde ettiğimiz bu başarı oranı bireylerin hastalıklarını ve fiziksel özelliklerini kullanarak tespit ettiğimiz Naive Bayes modelinin başarı oranına (%87,5) göre daha düşüktü. Bulgularımız bu açıdan fonksiyonel denge testlerinin çoklu uygulanmasına rağmen düşme

riskini belirlemede tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle biz bireylerin hastalıklarını, fiziksel özelliklerini ve fonksiyonel denge testlerini kullanarak (ÖZNİTELİK3) makine öğrenme modelleri oluşturduk. Bu nitelikler ile oluşturulan modellerden DVM, %100 başarı ile düşen ve düşmeyen bireylerin tümünü (n=24) doğru tespit etti.

BDP, zorlu statik ve dinamik koşullar altında postüral kontrolü değerlendiren objektif bir testtir. BDP ile çeşitli testler bireylere uygulanabilir. En yaygın kullanılanı DOT'tur. DOT, bireylerin postüral kontrolden sorumlu olan duyuşal sistemleri (somatosensör, görsel ve vestibüler) değerlendirir ve bu sistemlerin genel koordinasyonunu yansıtan "kompozit puanı" hesaplar. Ayrıca BDP, motor ve merkezi adaptif bozuklukları araştırmak için değerli bir araçtır. Bu nedenle postüral kontrolün değerlendirilmesinde altın standart test olarak kabul edilir (Trueblood vd., 2018). Müjdeci vd. (2012), 30 yaşlı bireyi düşenler (son bir yıl içerisinde en az iki defa) ve düşmeyenler olarak iki gruba ayırmış ve bu bireylere BDP ile DOT uygulamıştır. Yazarlar düşen bireylerin DOT 3, DOT 6 ve kompozit skorlarının düşmeyenlere göre daha kötü olduğunu saptamıştır. Soto-Varela vd. (2015) 70 yaşlı bireyi düşenler ve düşmeyenler olarak iki gruba ayırmış ve düşme riskini DOT ile tahmin etmeye çalışmıştır. Yazarlar düşen bireylerin DOT 2 skorunun, somatosensör ve görsel tercih girdilerinin düşmeyenlere göre daha kötü olduğunu belirtmiştir. Benzer olarak biz çalışmamıza 120 yaşlı birey dahil ettik ve bu bireyleri düşmeyenler (n=65) ve düşenler (n=55) olarak iki gruba ayırdık. Çalışmamızda düşen bireylerin tüm DOT skorları (vestibüler, vizüel ve somatosensör) Düşmeyenlere göre daha kötüydü ($p<0,05$). Çalışmamızda düşen yaşlı bireylerin DOT skorlarının diğer çalışmalara göre daha kötü olması örneklem grubunun büyüklüğü ile açıklanabilir. Biz çalışmamıza diğer çalışmalardan daha fazla (120 yaşlı) birey dahil ettik. Dolayısı ile gruplar arasındaki DOT farkı daha net olarak ortaya çıkmış olabilir. Biz ayrıca DOT verilerini (ÖZNİTELİK4) makine öğrenmesinde düşme riskini tahmin etmek için kullandık. Bilgimiz dahilinde literatürde düşme riskini makine öğrenmesinde DOT verilerini kullanarak saptayan bir çalışma bulunmamaktadır. DOT verileri kullanılarak oluşturduğumuz modellerden en yüksek başarı oranına %91,6 ile XGBoost ulaştı. Dahası, çalışmamızda düşme riskini; kompozit skordan sonra %31,5 ile en fazla anormal vestibüler inputların oluşturduğu tespit edildi.

Son olarak çalışmamızda tüm öz nitelikleri (23 öz nitelik) makine öğrenmesinde kullanarak düşme riskini tahmin ettik. Tüm öz nitelikler kullanılarak oluşturulan modellerden en yüksek başarı oranına %100 ile Naive Bayes ulaştı. Sonuca etki eden nitelik önem sıraları

incelendiğinde en yüksek oran TDYT'ye aitti. İkinci ve üçüncü sırada ise bireylerde bulunan dengesizlik semptomunun süresi ve şiddeti gelmekteydi. TDYT, toplam 22 sorudan oluşan ve düşme riskini belirlemek için kullanılan bir tarama aracıdır (Scura ve Munakomi, 2023). Testte hem dengeyi hem de yürümeyi değerlendiren uygulamalar bulunmaktadır. Toplam puan bu uygulamalar üzerinden alınan skorlar toplanarak değerlendirilmektedir. Dolayısı ile TDYT, birçok uygulamayı içerisinde barındıran bir testtir. Bu nedenle TDYT puanı, oluşturduğumuz makine öğrenme modelinde elde ettiğimiz sonuca daha fazla katkı sağlamış olabilir.

Çalışmamızda düşme riskini tahmin etmek için tek başına kullanılabilecek en güvenilir testin BDP ile uygulanan DOT olduğu tespit edilmiştir. BDP objektiftir ve dengenin tüm parametrelerini değerlendirmektedir. Ancak, ulaşılması zor ve pahalı bir test olmasının yanı sıra zaman almaktadır. Yaşlı bireylerde düşmeler; fiziksel, algısal ve bilişsel değişiklikler ile hastalıkların yaşlı güvenliği açısından uygun olmayan bir ortamla birleşmesi sonucunda oluşur. Bu nedenle çalışmamızda, katılımcıların 1) hastalıkları ve fiziksel özellikleri, 2) basit fonksiyonel denge testleri ve 3) dengenin değerlendirilmesinde altın standart olarak kabul edilen BDP verileri ile ayrı ayrı makine öğrenme modelleri oluşturulmuştur. Bilgimiz dahilinde literatürde yaşlı bireylerin düşme riskini tahmin etmek için farklı test verileri (hastalıklar, basit fonksiyonel denge testleri ve BDP) kullanılarak makine öğrenme modelleri geliştirilen ve bu modellerin birbirlerine göre üstünlüklerini karşılaştıran bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızda tek başına düşme riskini en yüksek oranla BDP ile oluşturulan model tespit etse de fonksiyonel denge testlerine ek olarak bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri kullanılarak oluşturulan modelin BDP'ye göre düşme riskini daha yüksek oranla tespit ettiği saptandı. Bu durum, düşme riskini değerlendirmek için kullanılan denge testleri güvenilir olsa da bireylerin hastalıkları ve fiziksel özelliklerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Fonksiyonel denge testleri ile bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri makine öğrenmesinde kullanılarak yaşlı bireylerin düşme riski basit, hızlı ve ucuz bir şekilde tahmin edilebilir. Böylelikle düşme riski bulunan bireyler erken tespit edilebilir ve düşmeyi önleme stratejileri (egzersiz, bilinçlendirme ve ergonomi) bu bireylere önerilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmaya 120 yaşlı birey dahil edildi. Bu bireylerden düşmeyenler grup I'e, son bir yıl içerisinde en az 1 defa düşenler grup II'ye dahil edildi. Her iki gruptaki bireylerden anamnez alındı ve bireylere fonksiyonel denge testleri ve DOT uygulandı. Bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri, fonksiyonel denge testleri ve DOT skorları karşılaştırıldı. Ayrıca, gruplar arasında anlamlı fark olan nitelikler makine öğrenmesinde kullanılarak yaşlı bireylerin düşme riskleri tahmin edildi. Verilerin %80'i (n=96) ile 8 adet makine öğrenme modeli (Naive Bayes, K-EYK, karar ağacı, rastgele orman, YSA, XGBoost, lojistik regresyon ve DVM) eğitildi ve geriye kalan %20 (n=24) veri ile bu modeller test edildi. Çalışmamızın bulguları aşağıda sunulmuştur.

- 1) Çalışmamızda düşen ve düşmeyen yaşlı bireyler arasında yaş ve cinsiyet açısından bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$).
- 2) Yaşlı bireylerde VKİ arttıkça düşme riski artmaktadır ($p=0,027$), ancak kilonun artması yaşlı bireylerde düşme riskini etkilememektedir ($p=0,476$). VKİ arttıkça düşme riski artması bulgusu boy kısalığı ile ilgilidir ($p<0,476$). Yani boyu kısa olan yaşlı bireylerde düşme riski daha fazladır.
- 3) Diyabetes mellitus, hipertansiyon, dengesizlik semptomu ve işitme kaybı yaşlı bireylerde düşme riskini artırmaktadır ($p<0,05$).
- 4) Düşen yaşlı bireylerin ZKYT, FUT, foam Romberg, zorlaştırılmış Romberg, gözler açık ve kapalı TADT ve TDYT skorları düşmeyen yaşlı bireylere göre daha kötüdür ($p<0,05$).
- 5) Düşen yaşlı bireylerin tüm DOT skorları düşmeyen yaşlı bireylere göre daha kötüdür ($p<0,05$).
- 6) Düşen yaşlı bireylerin somatosensör, vizüel ve vestibüler sistem DOT verileri düşmeyen yaşlı bireylere göre daha kötüdür ($p<0,05$). Ancak gruplar arasında görsel tercih açısından bir fark saptanmadı (0,168).
- 7) Bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden en yüksek performansı %87,5 doğruluk oranı ile Naive Bayes göstermiştir.
- 8) Bireylerin fonksiyonel denge testleri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden en yüksek performansı %83,34 doğruluk oranı ile Lojistik Regresyon göstermiştir.

- 9) Bireylerin hem hastalıkları ve fiziksel özellikleri hem de fonksiyonel denge testleri kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden en yüksek performansı %100 doğruluk oranı ile DVM göstermiştir.
- 10) Bireylerin DOT skorları kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden en yüksek performansı %91,66 doğruluk oranı ile XGBoost göstermiştir.
- 11) DOT verileri kullanılarak oluşturulan XGBoost algoritmasına göre düşme riski en çok vestibüler sistemin bozulmasına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.
- 12) Bireylerin hastalıkları, fiziksel özellikleri, fonksiyonel denge testleri ve DOT skorları (tüm öznitelikler: 23 öznitelik) kullanılarak oluşturulan makine öğrenme modellerinden en yüksek performansı %100 doğruluk oranı ile Naive Bayes göstermiştir.
- 13) Tüm öznitelikler kullanılarak oluşturulan Naive Bayes algoritmasına göre düşme riski en çok TDYT skorlarının düşmesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda öneriler aşağıda sunulmuştur.

- 1) Düşme riskini değerlendirmek için kullanılan denge testleri güvenilir olsa da bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri de dikkate alınmalıdır.
- 2) Bireylerin düşme riskini yüksek başarı ile tahmin etmek için denge testlerine ek olarak bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.
- 3) BDP ulaşılması zor ve pahalı bir testtir. Bu nedenle BDP'nin olmadığı kliniklerde fonksiyonel denge testleri, bireylerin hastalıkları ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak düşme riski yüksek başarı oranı ile tahmin edilebilir.
- 4) Gelecek çalışmalarda daha fazla örneklem sayısı ve daha fazla makine öğrenme algoritması ile yaşlı bireylerin düşme riski tahmin edilebilir.
- 5) Basit fonksiyonel denge testleri, hastalıklar ve fiziksel özellikleri içeren makine öğrenme temelli internet siteleri veya mobil uygulamalar geliştirilebilir. Bu sayede yaşlı bireyler kliniklere başvurmadan çevrimiçi danışmanlık ile düşme riskini tespit edebilir. Benzer olarak bu bireylere çevrimiçi düşmeyi önleme stratejileri önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abbasgholizadeh Rahimi, S., Légaré, F., Sharma, G., Archambault, P., Zomahoun, H.T.V., Chandavong, S., Rheault, N., S, T.W., Langlois, L., Couturier, Y., Salmeron, J.L., Gagnon, M.P. & Légaré, J. (2021). Application of Artificial Intelligence in Community-Based Primary Health Care: Systematic Scoping Review and Critical Appraisal. *J Med Internet Res*, 23(9), e29839. <https://doi.org/10.2196/29839>
- Adesunkanmi, A.R., Oseni, S.A. & Badru, O.S. (1999). Severity and outcome of falls in children. *West Afr J Med*, 18(4), 281-285.
- Agrawal, Y., Carey, J.P., Della Santina, C.C., Schubert, M.C. & Minor, L.B. (2009). Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004. *Arch Intern Med*, 169(10), 938-944. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.66>
- Ajmani, S., Keshri, A., Srivastava, R., Aggarwal, A. & Lawrence, A. (2019). Hearing loss in ankylosing spondylitis. *Int J Rheum Dis*, 22(7), 1202-1208. <https://doi.org/10.1111/1756-185x.13560>
- Aktaş, S. and Celik, Y. (2004). An evaluation of the underlying causes of fall-induced hip fractures in elderly persons. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 10(4), 250-252.
- Akyol, A. D. (2007). Falls in the elderly: what can be done? *Int Nurs Rev*, 54(2), 191-196. <https://doi.org/10.1111/j.1466-7657.2007.00505.x>
- Alexander, N.B. and Hausdorff, J.M. (2008). Guest editorial: linking thinking, walking, and falling. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 63(12), 1325-1328. <https://doi.org/10.1093/gerona/63.12.1325>
- Allen, D., Ribeiro, L., Qadeer, A. & Seemungal B.M. (2016). Age-Related Vestibular Loss: Current Understanding and Future Research Directions. *Frontiers in neurology*, 7, 231. <https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00231>
- AlSowailmi, B.A., AlAkeely, M.H., Al Jutaily, H.I., Alhasoon, M.A., Omair, A. & AlKhalaf, H.A. (2018). Prevalence of fall injuries and risk factors for fall among hospitalized children in a specialized childrens hospital in Saudi Arabia. *Ann Saudi Med*, 38(3), 225-229. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2018.225>
- Alvarez, J. C., Díaz, C., Suárez, C., Fernández, J. A., González del Rey, C., Navarro, A. & Tolivia, J. (2000). Aging and the human vestibular nuclei: morphometric analysis. *Mech Ageing Dev*, 114(3), 149-172. [https://doi.org/10.1016/s0047-6374\(00\)00098-1](https://doi.org/10.1016/s0047-6374(00)00098-1)
- Ambrose, A.F., Paul, G. & Hausdorff, J.M. (2013). Risk factors for falls among older adults: a review of the literature. *Maturitas*, 75(1), 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.02.009>
- Ambrose, A., Levalley, A. & Verghese, J. (2006). A comparison of community-residing older adults with frontal and parkinsonian gaits. *J Neurol Sci*, 248(1-2), 215-218. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2006.05.035>
- Amisha, Malik, P., Pathania, M., & Rathaur, V.K. (2019). Overview of artificial intelligence in medicine. *J Family Med Prim Care*, 8(7), 2328-2331. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_440_19
- Andersen, B.B., Gundersen, H.J. & Pakkenberg, B. (2003). Aging of the human cerebellum: a stereological study. *J Comp Neurol*, 466(3), 356-365. <https://doi.org/10.1002/cne.10884>

- Arnold, C.M. and Faulkner, R.A. (2007). The history of falls and the association of the timed up and go test to falls and near-falls in older adults with hip osteoarthritis. *BMC Geriatr*, 7, 17. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-7-17>
- Artal, P., Ferro, M., Miranda, I. & Navarro, R. (1993). Effects of aging in retinal image quality. *J Opt Soc Am A*, 10(7), 1656-1662. <https://doi.org/10.1364/josaa.10.001656>
- Axer, H., Axer, M., Sauer, H., Witte, O.W. & Hagemann, G. (2010). Falls and gait disorders in geriatric neurology. *Clin Neurol Neurosurg*, 112(4), 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2009.12.015>
- Aydoğ, S.T., Korkusuz, P., Doral, M.N., Tetik, O. & Demirel, H.A. (2006). Decrease in the numbers of mechanoreceptors in rabbit ACL: the effects of ageing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14(4), 325-329. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0673-2>
- Barry, E., Galvin, R., Keogh, C., Horgan, F. & Fahey, T. (2014). 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*, 14, 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-14>
- Behrman, A.L., Light, K.E., Flynn, S.M. & Thigpen, M.T. (2002). Is the functional reach test useful for identifying falls risk among individuals with Parkinson's disease? *Arch Phys Med Rehabil*, 83(4), 538-542. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.30934>
- Berge, J.E., Goplen, F.K., Aarstad, H.J., Storhaug, T.A. & Nordahl, S.H.G. (2022). The Romberg sign, unilateral vestibulopathy, cerebrovascular risk factors, and long-term mortality in dizzy patients. *Front Neurol*, 13, 945764. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.945764>
- Black, F.O. (2001). What can posturography tell us about vestibular function? *Ann N Y Acad Sci*, 942, 446-464. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb03765.x>
- Black, S.E. M., B.E. & Fernie G.R. (1993). Aging, imbalance and falls. In J. A. B. Sharp, H.O. (Ed.), *The Vestibulo-ocular Reflex and Vertigo* (pp. 317–335.). Raven Press.
- Brantberg, K., Granath, K. & Scharf, N. (2007). Age-related changes in vestibular evoked myogenic potentials. *Audiol Neurotol*, 12(4), 247-253. <https://doi.org/10.1159/000101332>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Burt, C.W. and Fingerhut, L.A. (1998). Injury visits to hospital emergency departments: United States, 1992-95. *Vital Health Stat* 13(131), 1-76.
- Cadore, E.L., Rodríguez-Mañas, L., Sinclair, A. & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation Res*, 16(2), 105-114. <https://doi.org/10.1089/rej.2012.1397>
- Carpenter, J. E., Blasier, R. B. & Pellizzon, G. G. (1998). The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *Am J Sports Med*, 26(2), 262-265. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021701>
- Cevizci, S., Uluocak, Ş., Aslan, C., Gökulu, G., Bilir, O. & Bakar, C. (2015). Prevalence of falls and associated risk factors among aged population: Community based cross-sectional study from Turkey. *Cent Eur J Public Health*, 23(3), 233-239. <https://doi.org/10.21101/cejph.a4053>
- Chandler, J.M., Duncan, P.W. & Studenski, S.A. (1990). Balance performance on the postural stress test: comparison of young adults, healthy elderly, and fallers. *Phys Ther*, 70(7), 410-415. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.7.410>

- Chen, F., Cao, Z., Grais, E.M. & Zhao, F. (2021). Contributions and limitations of using machine learning to predict noise-induced hearing loss. *Int Arch Occup Environ Health*, 94(5), 1097-1111. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01648-w>
- Cortes, C. and Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273-297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- de Boer, M.R., Pluijm, S.M., Lips, P., Moll, A.C., Völker-Dieben, H.J., Deeg, D.J. & van Rens, G.H. (2004). Different aspects of visual impairment as risk factors for falls and fractures in older men and women. *J Bone Miner Res*, 19(9), 1539-1547. <https://doi.org/10.1359/jbmr.040504>
- Duckham, R.L., Procter-Gray, E., Hannan, M.T., Leveille, S.G., Lipsitz, L.A. & Li, W. (2013). Sex differences in circumstances and consequences of outdoor and indoor falls in older adults in the MOBILIZE Boston cohort study. *BMC Geriatr*, 13, 133. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-13-133>
- Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J. & Studenski, S. (1990). Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 45(6), M192-197. <https://doi.org/10.1093/geronj/45.6.m192>
- Eker, E., Yaşar, R., Ertan, T. & Güngen, C. (2002). Standardize mini mental test'in türk toplumunda hafif demans tanısında geçerlik ve güvenilirliği. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 13(4), 273-281. <http://search/yayin/detay/19471>
- Fahimi, F., Taylor, W.R., Dietzel, R., Armbrrecht, G. & Singh, N. (2021). Identifying Fallers Based on Functional Parameters: A Machine Learning Approach. 2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE), 1-6. <https://doi.org/10.1109/CSDE53843.2021.9718435>
- Ferlinc, A., Fabiani, E., Velnar, T. & Gradisnik, L. (2019). The Importance and Role of Proprioception in the Elderly: a Short Review. *Materia Socio Medica*, 31, 219. <https://doi.org/10.5455/msm.2019.31.219-221>
- Ferrell, W.R., Crichton, A. & Sturrock, R.D. (1992). Age-dependent changes in position sense in human proximal interphalangeal joints. *Neuroreport*, 3(3), 259-261. <https://doi.org/10.1097/00001756-199203000-00011>
- Forbes, J., Munakomi, S. & Cronovich, H. (2023, 15 Mayıs). Romberg Test. In *StatPearls*. StatPearls Publishing Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563187/>
- Freeman, R., Wieling, W., Axelrod, F.B., Benditt, D.G., Benarroch, E., Biaggioni, I., Cheshire, W.P., Chelmsky, T., Cortelli, P., Gibbons, C.H., Goldstein, D.S., Hainsworth, R., Hilz, M.J., Jacob, G., Kaufmann, H., Jordan, J., Lipsitz, L.A., Levine, B.D., Low, P.A., . . . van Dijk, J. G. (2011). Consensus statement on the definition of orthostatic hypotension, neurally mediated syncope and the postural tachycardia syndrome. *Auton Neurosci*, 161(1-2), 46-48. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2011.02.004>
- Furman, J.M. (1994). Posturography: uses and limitations. *Baillieres Clin Neurol*, 3(3), 501-513.
- Gale, C.R., Cooper, C. & Aihie Sayer, A. (2016). Prevalence and risk factors for falls in older men and women: The English Longitudinal Study of Ageing. *Age Ageing*, 45(6), 789-794. <https://doi.org/10.1093/ageing/afw129>
- Gangavati, A., Hajjar, I., Quach, L., Jones, R.N., Kiely, D.K., Gagnon, P. & Lipsitz, L.A. (2011). Hypertension, orthostatic hypotension, and the risk of falls in a community-dwelling elderly population: the maintenance of balance, independent living, intellect, and zest in the elderly of Boston study. *J Am Geriatr Soc*, 59(3), 383-389. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2011.03317.x>

- Genkin, A., Lewis, D.D. & Madigan, D. (2007). Large-Scale Bayesian Logistic Regression for Text Categorization. *Technometrics*, 49(3), 291-304. <https://doi.org/10.1198/004017007000000245>
- Gillespie, L.D., Gillespie, W.J., Robertson, M.C., Lamb, S.E., Cumming, R.G. & Rowe, B.H. (2003). Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database Syst Rev* (4), Cd000340. <https://doi.org/10.1002/14651858.Cd000340>
- Glasser, A. and Campbell, M.C. (1999). Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Res*, 39(11), 1991-2015. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(98\)00283-1](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(98)00283-1)
- Gleason, C.E., Gangnon, R.E., Fischer, B.L. & Mahoney, J.E. (2009). Increased risk for falling associated with subtle cognitive impairment: secondary analysis of a randomized clinical trial. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 27(6), 557-563. <https://doi.org/10.1159/000228257>
- Güngen, C., Ertan, T., Eker, E., Yaşar, R. & Engin, F. (2002). [Reliability and validity of the standardized Mini Mental State Examination in the diagnosis of mild dementia in Turkish population]. *Turk Psikiyatri Derg*, 13(4), 273-281.
- Haegerstrom-Portnoy, G., Schneek, M.E. & Brabyn, J.A. (1999). Seeing into old age: vision function beyond acuity. *Optom Vis Sci*, 76(3), 141-158. <https://doi.org/10.1097/00006324-199903000-00014>
- Hales, C.M., Fryar, C.D., Carroll, M.D., Freedman, D.S. & Ogden, C.L. (2018). Trends in Obesity and Severe Obesity Prevalence in US Youth and Adults by Sex and Age, 2007-2008 to 2015-2016. *Jama*, 319(16), 1723-1725. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.3060>
- Harwood, R.H., Foss, A.J., Osborn, F., Gregson, R.M., Zaman, A. & Masud, T. (2005). Falls and health status in elderly women following first eye cataract surgery: a randomised controlled trial. *Br J Ophthalmol*, 89(1), 53-59. <https://doi.org/10.1136/bjo.2004.049478>
- Hausdorff, J.M., Herman, T., Baltadjieva, R., Gurevich, T. & Giladi, N. (2003). Balance and gait in older adults with systemic hypertension. *Am J Cardiol*, 91(5), 643-645. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(02\)03332-5](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(02)03332-5)
- Holtzer, R., Friedman, R., Lipton, R.B., Katz, M., Xue, X. & Verghese, J. (2007). The relationship between specific cognitive functions and falls in aging. *Neuropsychology*, 21(5), 540-548. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.5.540>
- Honaker, J.A. and Shepard, N.T. (2011). Use of the Dynamic Visual Acuity Test as a screener for community-dwelling older adults who fall. *J Vestib Res*, 21(5), 267-276. <https://doi.org/10.3233/ves-2011-0427>
- Horak, F.B., Shupert, C.L. & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging*, 10(6), 727-738. [https://doi.org/10.1016/0197-4580\(89\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0197-4580(89)90010-9)
- Hunter, S.K., Pereira, H.M. & Keenan, K.G. (2016). The aging neuromuscular system and motor performance. *J Appl Physiol*, 121(4), 982-995. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00475.2016>
- Ikeda, T., Cooray, U., Hariyama, M., Aida, J., Kondo, K., Murakami, M. & Osaka, K. (2022). An Interpretable Machine Learning Approach to Predict Fall Risk Among Community-Dwelling Older Adults: a Three-Year Longitudinal Study. *J Gen Intern Med*, 37(11), 2727-2735. <https://doi.org/10.1007/s11606-022-07394-8>
- Imandoust, S.B. and Bolandraftar, M. (2013). Application of K-nearest neighbor (KNN) approach for predicting economic events theoretical background. *Int J Eng Res Appl*, 3, 605-610.

- Iwasaki, T., Goto, N., Goto, J., Ezure, H. & Moriyama, H. (2003). The aging of human Meissner's corpuscles as evidenced by parallel sectioning. *Okajimas Folia Anat Jpn*, 79(6), 185-189. <https://doi.org/10.2535/ofaj.79.185>
- Jahn, K., Naessl, A., Schneider, E., Strupp, M., Brandt, T. & Dieterich, M. (2003). Inverse U-shaped curve for age dependency of torsional eye movement responses to galvanic vestibular stimulation. *Brain*, 126(Pt 7), 1579-1589. <https://doi.org/10.1093/brain/awg163>
- Jang, Y.C. and Van Remmen, H. (2011). Age-associated alterations of the neuromuscular junction. *Exp Gerontol*, 46(2-3), 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2010.08.029>
- Johansson, J., Nordström, A. & Nordström, P. (2016). Greater Fall Risk in Elderly Women Than in Men Is Associated With Increased Gait Variability During Multitasking. *J Am Med Dir Assoc*, 17(6), 535-540. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.02.009>
- Johnsson, L.G. (1971). Degenerative changes and anomalies of the vestibular system in man. *Laryngoscope*, 81(10), 1682-1694. <https://doi.org/10.1288/00005537-197110000-00016>
- Johnsson, L.G., and Hawkins, J.E. Jr. (1972). Sensory and neural degeneration with aging, as seen in microdissections of the human inner ear. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 81(2), 179-193. <https://doi.org/10.1177/000348947208100203>
- Kaplan, F.S., Nixon, J.E., Reitz, M., Rindfleisch, L. & Tucker, J. (1985). Age-related changes in proprioception and sensation of joint position. *Acta Orthop Scand*, 56(1), 72-74. <https://doi.org/10.3109/17453678508992984>
- Kararizou, E., Manta, P., Kalfakis, N. & Vassilopoulos, D. (2005). Morphometric study of the human muscle spindle. *Anal Quant Cytol Histol*, 27(1), 1-4.
- Kelle, A. and Yuce, H. (2022). MQTT Trafiğinde DoS Saldırılarının Makine Öğrenmesi İle Sınıflandırılması ve Modelin SHAP İle Yorumlanması. *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 3. <https://doi.org/10.55546/jmm.995091>
- Kerber, K.A., Enrietto, J.A., Jacobson, K.M. & Baloh, R.W. (1998). Disequilibrium in older people: a prospective study. *Neurology*, 51(2), 574-580. <https://doi.org/10.1212/wnl.51.2.574>
- Ko, S., Ling, S.M., Winters, J. & Ferrucci, L. (2009). Age-related mechanical work expenditure during normal walking: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Biomech*, 42(12), 1834-1839. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.05.037>
- Kozinc, Ž., Löfler, S., Hofer, C., Carraro, U. & Šarabon, N. (2020). Diagnostic Balance Tests for Assessing Risk of Falls and Distinguishing Older Adult Fallers and Non-Fallers: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/diagnostics10090667>
- Le Fort, E. (2018). *A Comparative Study of Machine Learning Algorithms* (Yüksek Lisans). McMaster University, Kanada.
- Li, C., Layman, A.J., Carey, J.P. & Agrawal, Y. (2015). Epidemiology of vestibular evoked myogenic potentials: Data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Clin Neurophysiol*, 126(11), 2207-2215. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.01.008>
- Li, C., Layman, A.J., Geary, R., Anson, E., Carey, J.P., Ferrucci, L. & Agrawal, Y. (2015). Epidemiology of vestibulo-ocular reflex function: data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Otol Neurotol*, 36(2), 267-272. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000000610>
- Liston, M.B., Bamiou, D.E., Martin, F., Hopper, A., Koohi, N., Luxon, L. & Pavlou, M. (2014). Peripheral vestibular dysfunction is prevalent in older adults experiencing multiple non-

- syncopal falls versus age-matched non-fallers: a pilot study. *Age Ageing*, 43(1), 38-43. <https://doi.org/10.1093/ageing/aft129>
- Liu, J.X., Eriksson, P.O., Thornell, L.E. & Pedrosa-Domellöf, F. (2005). Fiber content and myosin heavy chain composition of muscle spindles in aged human biceps brachii. *J Histochem Cytochem*, 53(4), 445-454. <https://doi.org/10.1369/jhc.4A6257.2005>
- Lobel, E., Kleine, J.F., Bihan, D.L., Leroy-Willig, A. & Berthoz, A. (1998). Functional MRI of galvanic vestibular stimulation. *J Neurophysiol*, 80(5), 2699-2709. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.5.2699>
- Lopez, I., Honrubia, V. & Baloh, R.W. (1997). Aging and the human vestibular nucleus. *J Vestib Res*, 7(1), 77-85.
- Lord, S.R., Sambrook, P.N., Gilbert, C., Kelly, P.J., Nguyen, T., Webster, I.W. & Eisman, J.A. (1994). Postural stability, falls and fractures in the elderly: results from the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. *Med J Aust*, 160(11), 684-685, 688-691.
- Ma, J., Yao, Y.J., Ma, R.M., Li, J.Q., Wang, T., Li, X.J., Han, W.Q., Hu, W.D. & Zhang, Z.M. (2009). Effects of sleep deprivation on human postural control, subjective fatigue assessment and psychomotor performance. *J Int Med Res*, 37(5), 1311-1320. <https://doi.org/10.1177/147323000903700506>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(1), 381-386.
- Maki, B.E. and McIlroy, W.E. (2006). Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing*, 35 Suppl 2, 12-18. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl078>
- Menant, J.C., Steele, J.R., Menz, H.B., Munro, B.J. & Lord, S.R. (2008). Optimizing footwear for older people at risk of falls. *J Rehabil Res Dev*, 45(8), 1167-1181.
- Michikawa, T., Nishiwaki, Y., Takebayashi, T. & Toyama, Y. (2009). One-leg standing test for elderly populations. *J Orthop Sci*, 14(5), 675-685. <https://doi.org/10.1007/s00776-009-1371-6>
- Mijangos, A.D.S., la Cruz, P.G.d., Alfaro, L.I.S. & Ribón, T.S. (2019). Factores de riesgo de caídas e índice de masa corporal en el adulto mayor hospitalizado. *Revista Cuidarte*, 10, 1-9.
- Miwa, T., Miwa, Y. & Kanda, K. (1995). Dynamic and static sensitivities of muscle spindle primary endings in aged rats to ramp stretch. *Neurosci Lett*, 201(2), 179-182. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(95\)12165-x](https://doi.org/10.1016/0304-3940(95)12165-x)
- Moreland, J.D., Richardson, J.A., Goldsmith, C.H. & Clase, C.M. (2004). Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 52(7), 1121-1129. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52310.x>
- Morris, M., Osborne, D., Hill, K., Kendig, H., Lundgren-Lindquist, B., Browning, C. & Reid, J. (2004). Predisposing factors for occasional and multiple falls in older Australians who live at home. *Aust J Physiother*, 50(3), 153-159. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(14\)60153-7](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(14)60153-7)
- Muir, S.W., Gopaul, K. & Montero Odasso, M.M. (2012). The role of cognitive impairment in fall risk among older adults: a systematic review and meta-analysis. *Age Ageing*, 41(3), 299-308. <https://doi.org/10.1093/ageing/afs012>
- Müjdeci, B., Aksoy, S. & Atas, A. (2012). Evaluation of balance in fallers and non-fallers elderly. *Braz J Otorhinolaryngol*, 78(5), 104-109. <https://doi.org/10.5935/1808-8694.20120016>

- Noh, H. and Lee, D. H. (2023). Predictable Factors of People with Asymmetrical Hearing Loss Wearing a Hearing Aid in the Worse Ear Only. *J Clin Med*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/jcm12062251>
- Paleacu, D., Shutzman, A., Giladi, N., Herman, T., Simon, E.S. & Hausdorff, J.M. (2007). Effects of pharmacological therapy on gait and cognitive function in depressed patients. *Clin Neuropsychopharmacol*, 30(2), 63-71. <https://doi.org/10.1097/01.wnf.0000240949.41691.95>
- Park, K.V., Oh, K.H., Jeong, Y.J., Rhee, J., Han, M.S., Han, S.W. & Choi, J. (2020). Machine Learning Models for Predicting Hearing Prognosis in Unilateral Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 13(2), 148-156. <https://doi.org/10.21053/ceo.2019.01858>
- Park, S.H. (2018). Tools for assessing fall risk in the elderly: a systematic review and meta-analysis. *Aging Clin Exp Res*, 30(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0749-0>
- Patino, C.M., McKean-Cowdin, R., Azen, S.P., Allison, J.C., Choudhury, F. & Varma, R. (2010). Central and peripheral visual impairment and the risk of falls and falls with injury. *Ophthalmology*, 117(2), 199-206.e191. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.063>
- Peters, R. (2006). Ageing and the brain. *Postgrad Med J*, 82(964), 84-88. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2005.036665>
- Podsiadlo, D. and Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 39(2), 142-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- Polatlı, L.Ö. and Karadayı, M.A. (2022). Sağlık Hizmetlerinde Güncel Makine Öğrenmesi Algoritmaları. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment*, 6(2), 117-143.
- Radvay, X., Duhoux, S., Koenig-Supiot, F. & Vital-Durand, F. (2007). Balance training and visual rehabilitation of age-related macular degeneration patients. *J Vestib Res*, 17(4), 183-193.
- Ribeiro, F. and Oliveira, J. (2007). Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. *European Review of Aging and Physical Activity*, 4(2), 71-76. <https://doi.org/10.1007/s11556-007-0026-x>
- Richter, E. (1980). Quantitative study of human Scarpa's ganglion and vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol*, 90(3-4), 199-208. <https://doi.org/10.3109/00016488009131716>
- Rubenstein, L.Z. (2006). Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing*, 35 Suppl 2, 37-41. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl084>
- Ruder, S. and Plank, B. (2018). *Strong Baselines for Neural Semi-Supervised Learning under Domain Shift*, 1, 1044–1054 <https://doi.org/10.18653/v1/P18-1096>
- Sagiv, M. (2020). Aging of the Musculoskeletal System. In G. Slobodin & Y. Shoenfeld (Eds.), *Rheumatic Disease in Geriatrics : Diagnosis and Management* (pp. 11-16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44234-7_2
- Salamon, S. and Manor, B. (2012). *Better Balance Special Health Report*. Harvard Health Publications.
- Salari, N., Darvishi, N., Ahmadipanah, M., Shohaimi, S. & Mohammadi, M. (2022). Global prevalence of falls in the older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*, 17(1), 334. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03222-1>
- Sanders, N.A., Ganguly, J.A., Jetter, T.L., Daccarett, M., Wasmund, S.L., Brignole, M. & Hamdan, M.H. (2012). Atrial fibrillation: an independent risk factor for nonaccidental falls in older

- patients. *Pacing Clin Electrophysiol*, 35(8), 973-979. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2012.03443.x>
- Sartini, M., Cristina, M.L., Spagnolo, A.M., Cremonesi, P., Costaguta, C., Monacelli, F., Garau, J. & Odetti, P. (2010). The epidemiology of domestic injurious falls in a community dwelling elderly population: an outgrowing economic burden. *Eur J Public Health*, 20(5), 604-606. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckp165>
- Scura, D. and Munakomi, S. (2023, 15 Mayıs). Tinetti Gait and Balance Test. In *StatPearls*. StatPearls Publishing Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35201709/>
- Seçil, G.G. and Nesrin, N. (2016). Prevalence of and risk factors for falls and disability among elderly individuals in a Turkish population (Trabzon Province). *Int J Med Res Health Sci*, 5(8), 156-163.
- Seco, J., Abecia, L.C., Echevarría, E., Barbero, I., Torres-Unda, J., Rodriguez, V. & Calvo, J.I. (2013). A long-term physical activity training program increases strength and flexibility, and improves balance in older adults. *Rehabil Nurs*, 38(1), 37-47. <https://doi.org/10.1002/rnj.64>
- Segev-Jacobovskii, O., Herman, T., Yogev-Seligmann, G., Mirelman, A., Giladi, N. & Hausdorff, J. M. (2011). The interplay between gait, falls and cognition: can cognitive therapy reduce fall risk? *Expert Rev Neurother*, 11(7), 1057-1075. <https://doi.org/10.1586/ern.11.69>
- Sheng, B., Zhao, J., Tao, J., Zhang, Y., Duan, C. & Zhuang, J. (2022). Smart fall prediction paradigm for community-dwelling seniors through fitness screening protocols and machine learning. *Measurement*, 200, 111584. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111584>
- Shepard, N.T. and Janky, K. (2010). Chapter 19 - Computerized postural control assessment1. In *Handbook of Clinical Neurophysiology*, Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(10\)09019-2](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(10)09019-2)
- Sibley, K.M., Voth, J., Munce, S.E., Straus, S.E. & Jaglal, S.B. (2014). Chronic disease and falls in community-dwelling Canadians over 65 years old: a population-based study exploring associations with number and pattern of chronic conditions. *BMC Geriatr*, 14, 22. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-22>
- Skinner, H.B., Barrack, R.L., & Cook, S.D. (1984). Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop Relat Res*, (184), 208-211.
- Snowden, R.J. and Kavanagh, E. (2006). Motion perception in the ageing visual system: minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 35(1), 9-24. <https://doi.org/10.1068/p5399>
- Son, S.M. (2016). Influence of Obesity on Postural Stability in Young Adults. *Osong Public Health Res Perspect*, 7(6), 378-381. <https://doi.org/10.1016/j.phrp.2016.10.001>
- Soto-Varela, A., Faraldo-García, A., Rossi-Izquierdo, M., Lirola-Delgado, A., Vaamonde-Sánchez-Andrade, I., del-Río-Valeiras, M., Gayoso-Diz, P. & Santos-Pérez, S. (2015). Can we predict the risk of falls in elderly patients with instability? *Auris Nasus Larynx*, 42(1), 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2014.06.005>
- Strong, R. (1998). Neurochemical changes in the aging human brain: implications for behavioral impairment and neurodegenerative disease. *Geriatrics*, 53,1, 9-12.
- Sturnieks, D.L., St George, R. & Lord, S.R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*, 38(6), 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.001>

- Su, H.C., Huang, T.W., Young, Y.H. & Cheng, P.W. (2004). Aging effect on vestibular evoked myogenic potential. *Otol Neurotol*, 25(6), 977-980. <https://doi.org/10.1097/00129492-200411000-00019>
- Summary of the Updated American Geriatrics Society (SUAGS)/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons. (2011). *J Am Geriatr Soc*, 59(1), 148-157. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03234.x>
- Szabo, S.M., Janssen, P.A., Khan, K., Potter, M.J. & Lord, S.R. (2008). Older women with age-related macular degeneration have a greater risk of falls: a physiological profile assessment study. *J Am Geriatr Soc*, 56(5), 800-807. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01666.x>
- Tencer, A.F., Koepsell, T.D., Wolf, M.E., Frankenfeld, C.L., Buchner, D.M., Kukull, W.A., LaCroix, A.Z., Larson, E.B. & Tautvydas, M. (2004). Biomechanical properties of shoes and risk of falls in older adults. *J Am Geriatr Soc*, 52(11), 1840-1846. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52507.x>
- Thapa, R., Garikipati, A., Shokouhi, S., Hurtado, M., Barnes, G., Hoffman, J., Calvert, J., Katzmann, L., Mao, Q. & Das, R. (2022). Predicting Falls in Long-term Care Facilities: Machine Learning Study. *JMIR Aging*, 5(2), e35373. <https://doi.org/10.2196/35373>
- Thomas, J.I. and Lane, J.V. (2005). A pilot study to explore the predictive validity of 4 measures of falls risk in frail elderly patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(8), 1636-1640. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.004>
- Tieland, M., Trouwborst, I. & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 9(1), 3-19. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12238>
- Tinetti, M.E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc*, 34(2), 119-126. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x>
- Tinetti, M.E., Speechley, M. & Ginter, S.F. (1988). Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med*, 319(26), 1701-1707. <https://doi.org/10.1056/nejm198812293192604>
- Tongterm, T., Suputtitada, A., Lawsirirat, C. & Janwantanakul, P. (2015). Functional fitness test for screening the risk of falls in the elderly: using decision tree technique [Report]. *Journal of Exercise Physiology Online*, 18, 104.
- Trueblood, P.R., Rivera, M., Lopez, C., Bentley, C. & Wubenhorst, N. (2018). Age-based normative data for a computerized dynamic posturography system that uses a virtual visual surround environment. *Acta Otolaryngol*, 138(7), 597-602. <https://doi.org/10.1080/00016489.2018.1429653>
- Usmani, S., Saboor, A., Haris, M., Khan, M. & Park, H. (2021). Latest Research Trends in Fall Detection and Prevention Using Machine Learning: A Systematic Review. *Sensors*, 21, 5134. <https://doi.org/10.3390/s21155134>
- Vanicek, N., King, S.A., Gohil, R., Chetter, I.C. & Coughlin, P.A. (2013). Computerized dynamic posturography for postural control assessment in patients with intermittent claudication. *J Vis Exp*, (82), e51077. <https://doi.org/10.3791/51077>
- Velázquez-Villaseñor, L., Merchant, S.N., Tsuji, K., Glynn, R.J., Wall, C. & Rauch, S.D. (2000). Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system. Normative Scarpa's ganglion cell data. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl*, 181, 14-19. <https://doi.org/10.1177/00034894001090s503>
- Vellas, B.J., Wayne, S.J., Romero, L., Baumgartner, R.N., Rubenstein, L.Z. & Garry, P.J. (1997). One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. *J Am Geriatr Soc*, 45(6), 735-738. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1997.tb01479.x>

- Verdú, E., Ceballos, D., Vilches, J.J. & Navarro, X. (2000). Influence of aging on peripheral nerve function and regeneration. *J Peripher Nerv Syst*, 5(4), 191-208. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8027.2000.00026.x>
- Voos, M.C., Custódio, E.B. & Malaquias, J.Jr. (2011). Relationship of executive function and educational status with functional balance in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 34(1), 11-18. <https://doi.org/10.1097/JPT.0b013e3181ff2452>
- Wewers, M.E. and Lowe, N.K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Res Nurs Health*, 13(4), 227-236. <https://doi.org/10.1002/nur.4770130405>
- Wolfson, L.I., Whipple, R., Amerman, P. & Kleinberg, A. (1986). Stressing the postural response. A quantitative method for testing balance. *J Am Geriatr Soc*, 34(12), 845-850. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1986.tb07256.x>
- Wong, A.M., Lin, Y.C., Chou, S.W., Tang, F.T. & Wong, P. Y. (2001). Coordination exercise and postural stability in elderly people: Effect of Tai Chi Chuan. *Arch Phys Med Rehabil*, 82(5), 608-612. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.22615>
- Wright, S.L., Kay, R.E., Avery, E.T., Giordani, B. & Alexander, N.B. (2011). The impact of depression on dual tasking among patients with high fall risk. *J Geriatr Psychiatry Neurol*, 24(3), 142-150. <https://doi.org/10.1177/0891988711409408>
- Yadav P., V.V. (2023). Fall Prediction Using Machine Learning - A Systematic Review. *American Journal of Biomedical Science & Research* 18(6), 637-646.
- Yarnall, A., Rochester, L. & Burn, D.J. (2011). The interplay of cholinergic function, attention, and falls in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 26(14), 2496-2503. <https://doi.org/10.1002/mds.23932>
- Ye, P., Er, Y., Wang, H., Fang, L., Li, B., Ivers, R., Keay, L., Duan, L. & Tian, M. (2021). Burden of falls among people aged 60 years and older in mainland China, 1990-2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Public Health*, 6(12), 907-918. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(21\)00231-0](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(21)00231-0)
- Zhao, Y., Li, J., Zhang, M., Lu, Y., Xie, H., Tian, Y. & Qiu, W. (2019). Machine Learning Models for the Hearing Impairment Prediction in Workers Exposed to Complex Industrial Noise: A Pilot Study. *Ear Hear*, 40(3), 690-699. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000649>
- Ziegl, A., Hayn, D., Kastner, P., Löffler, K., Weidinger, L., Brix, B., Goswami, N. & Schreier, G. (2020). Machine Learning Based Walking Aid Detection in Timed Up-and-Go Test Recordings of Elderly Patients. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 808-811. <https://doi.org/10.1109/embc44109.2020.9176574>

EKLER

Ek-1. Etik Kurul Onay Raporu

İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU KARAR FORMU	
ETİK KURULUN ADI	
AÇIK ADRES	
TELEFON	
FAKS	
E-POSTA	

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Bilgisayarlı dinamik postürografi ve fonksiyonel denge testleri ile makine öğrenmesinde yaşlı bireylerin düşme riskinin tahmin edilmesi - Başvuru No: 2022000648(2022/648)	
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Doç. Dr. Suna TOKGÖZ YILMAZ	
	PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. gibi kaynaklardan destek alanlar için)		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları	
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İbni Sina Hastanesi İşitme, Denge ve Konuşma Bozuklukları Tanı ve Rehabilitasyon Merkezi	
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:101-05-23	Tarih: 12 Ocak 2023
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.	

İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU	
ÇALIŞMA ESASI	İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof Dr Hakan ERGÜN

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Araştırma ile ilişkisi	İmza
Prof.Dr Hakan ERGÜN	Tıbbi Farmakoloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Berna ARDA	Tıp Tarihi ve Etik	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Hatice İLGIN RUHI	Tıbbi Genetik	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Sevim AYDIN	Histoloji ve Embriyoloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Berna SAVAS	Tıbbi Patoloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Yüksel URUN	Tıbbi Onkoloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Cihanrı AKYOL	Genel Cerrahi	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Bazak Ceyda MEÇO	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Halil ÖZDEMİR	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Ernel OKULU	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Zahide Çiler BÜYÜKATALAY YALDIZ	Kulak, Burun ve Boğaz Hastalıkları	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Rezzak YILMAZ	Nöroloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Doç.Dr.Serkan AKBULUT	Cerrahi Onkoloji	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	
Dr.İrem KAR	Biyoistatistik	A Ü Tıp Fakültesi	E ☐ H ☒	

Ek-2. Standartize Mini Mental Durum Değerlendirme Formu

MİNİ MENTAL DURUM TESTİ Mini Mental State Examination (MMSE)

Hastanın Adı, Soyadı :

Tarih: __/__/__

Puanı: _____

Oryantasyon (Her soru 1 puan, toplam 10 puan)

Hangi yıl içerisindeyiz? _____
Hangi mevsimdeyiz? _____
Hangi aydayız? _____
Bu gün ayın kaç? _____
Hangi gündeysiniz? _____

Hangi ülkede yaşıyoruz? _____
Şu an hangi şehirde bulunmaktasınız? _____
Şu an bulunduğunuz semt neresidir? _____
Şu an bulunduğunuz bina neresidir? _____
Şu an bu binanın kaçınca katındasınız? _____

Kayıt Hafızası (Toplam 3 puan)

Size birazdan söyleyeceğim üç ismi dikkatlice dinleyip, ben bitirdikten sonra tekrarlayınız:
Masa, bayrak, elbise. (20 sn süre tanınır.) Her doğru isim 1 puan. _____

Dikkat ve Hesap Yapma (Toplam 5 puan)

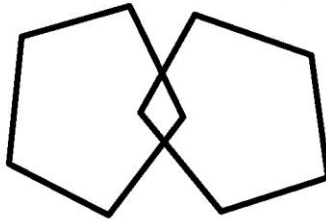
100'den geriye doğru 7 çıkartarak gidiniz. Dur deyinceye kadar devam ediniz.
100, 93, 86, 79, 72, 65. Her doğru işlem 1 puan. _____

Hatırlama (Toplam 3 puan)

Biraz önce tekrar ettiğiniz isimleri söyleyin.
Masa, bayrak, elbise. Her doğru isim 1 puan. _____

Lisan (Toplam 9 puan)

- Bu gördüğünüz nesneleri isimleri nedir?
Kol saati, kalem. (20 sn süre tanınır.) Her yanıt 1 puan, toplam 2 puan. _____
- Şimdi size söyleyeceğim cümleyi dikkatle dinleyin. Ben bitirdikten sonra tekrar edin.
Eğer ve fakat istemiyorum. (10 sn süre tanınır.) Doğru yanıt 1 puan _____
- Şimdi sizden bir şey yapmanızı isteyeceğim, beni dikkatle dinleyin ve söylediğimi yapın.
"Masada duran kâğıdı elinizle alın, iki elinizle ikiye katlayın ve yere bırakın lütfen"
(20 sn süre tanınır.) Her işlem 1 puan, toplam 3 puan. _____
- Şimdi size bir cümle göstereceğim. Okuyun ve yazıda söylenen şeyi yapın.
Bir kâğıda "GÖZLERİNİZİ KAPATIN" yazıp hastaya gösterin. Doğru yanıt 1 puan _____
- Şimdi vereceğim kâğıda aklınıza gelen anlamlı bir cümleyi yazın. Doğru yanıt 1 puan _____
- Size göstereceğim şeklin aynısını çizin;
(Aşağıdaki şekil arka sayfaya çizilecek.) Doğru yanıt 1 puan _____



Toplam Puan : _____

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: Emre Söylemez

1. Öğrenim Bilgisi

Doktora - 2020-2024 - Ankara Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/ Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları (Dr)/

Yüksek Lisans - 2017-2020 - Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/ Odyoloji, Ses ve Konuşma Bozuklukları (YI) (Tezli)/

Lisans - 2014-2017 - İstanbul Gelişim Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Yüksekokulu/ Odyoloji Bölümü/Odyoloji Pr. (Tam Burslu)/

2. Mesleki Deneyim

Öğretim Görevlisi – 2021 - Karabük Üniversitesi/Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu/ Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü/ Odyometri Pr.

Araştırma Görevlisi - 2020-2021 - Selçuk Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi/ Odyoloji Bölümü/Odyoloji Anabilim Dalı

3. Yayınlar

1. Soylemez E, Avci I, Yildirim E, Karaboya E, Yilmaz N, Ertugrul S, Tokgoz-Yilmaz S. Predicting noise-induced hearing loss with machine learning: The influence of tinnitus as a predictive factor. J Laryngol Otol. 2024;9:1-18. doi: 10.1017/S002221512400094X. Epub ahead of print.
2. Soylemez E, Bolat KB, Karakoc K, Can M, Basak H, Aydogan Z, Tokgoz-Yilmaz S. The Effect of Repositioning Maneuver Applied with the TRV Chair on Residual Dizziness after Benign Paroxysmal Positional Vertigo. Otol Neurotol. 2023;44(8):e596-e601. doi: 10.1097/MAO.0000000000003978.
3. Apaydın AS, Soylemez E. Cognitive and motor performances in dual tasks in older adults with chronic neck pain: A randomized controlled clinical trial.

Turkish Journal of Geriatrics. 2023; 26(3):267–276. doi: 10.29400/tjgeri.2023.353.

4. Yilmaz N, Soylemez E, Sanuc MB, Bayrak MH, Sener V. Sound energy absorbance changes in the elderly with presbycusis with normal outer and middle ear. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2023 May;280(5):2265-2271. doi: 10.1007/s00405-022-07742-8.
5. Yilmaz N, Soylemez E, Soylemez T, Sanuc MB, Yilmaz O. Chronic Noise Affects Middle Ear Resonance and Absorbance in Industrial Workers. *J Int Adv Otol.* 2022 Nov;18(6):530-536. doi: 10.5152/iao.2022.21579.
6. Soylemez E, Mujdeci B. Dual-task performance and vestibular functions in individuals with noise induced hearing loss. *Am J Otolaryngol.* 2020 Nov-Dec;41(6):102665. doi: 10.1016/j.amjoto.2020.102665.
7. Ertugrul S, Soylemez E. Explosion in hearing aid demands after Covid-19 outbreak curfew. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021 Mar;278(3):843-844. doi: 10.1007/s00405-020-06246-7.
8. Ertugrul S, Soylemez E, Gurel T. Effectiveness of hearing protection apparatus in preventing noise induced vestibular loss. *Int J Environ Health Res.* 2022 Dec;32(12):2708-2717. doi: 10.1080/09603123.2021.1987395.
9. Ertugrul G, Ertugrul S, Soylemez E. Evaluation of audiovestibular system in psoriasis patients without joint involvement. *Dermatol Ther.* 2020;33(3):e13396. doi: 10.1111/dth.13396.
10. Ertugrul G, Ertugrul S, Soylemez E. Investigation of hearing and outer hair cell function of the cochlea in patients with vitiligo. *Dermatol Ther.* 2020 Jul;33(4):e13724. doi: 10.1111/dth.13724.
11. Ertugrul G, Ertugrul S, Soylemez E. There is no evidence of cochlear and vestibular melanocyte damage in patients with alopecia areata. *Int J Clin Pract.* 2021 May;75(5):e14040. doi: 10.1111/ijcp.14040.
12. Ila K, Soylemez E, Yilmaz N, Kayis SA, Eshraghi AA. Vestibular functions in patients with tinnitus only. *Acta Otolaryngol.* 2019;139(2):162-166. doi: 10.1080/00016489.2018.1548778.
13. Yilmaz N, Ila K, Soylemez E, Ozdek A. Evaluation of vestibular system with vHIT in industrial workers with noise-induced hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2018 Nov;275(11):2659-2665. doi: 10.1007/s00405-018-5125-y.

14. Ertugrul S, Abacı M, Soylemez E. Potential Risk of Benign Paroxysmal Positional Vertigo Due To Traumatic Effect of Osteotomy in Septorhinoplasty Patients. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020 Mar;78(3):467.e1-467.e6. doi: 10.1016/j.joms.2019.11.018.
15. Soylemez E, Ertugrul S, Dogan E. Assessment of balance skills and falling risk in children with congenital bilateral profound sensorineural hearing loss. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2019 Jan;116:75-78. doi: 10.1016/j.ijporl.2018.10.034.

