

## Yaşlılarda Düşmelerin Önlenmesinde Akıllı Teknoloji Çözümleri: Derleme

Ebru TURAN KIZILDOĞAN<sup>1</sup>, Nazmiye Nur KÜÇÜKAYDIN<sup>2</sup>

### Özet

Dünya genelinde yaşlı nüfusun artması nedeniyle, yaşlı bireylerin sağlık ihtiyaçlarına yönelik gerekli önlemler alınmalıdır. Düşmeler, yaşlı bireyler için dikkat edilmesi gereken önemli bir sağlık sorunudur. Yaşlı bireylerde meydana gelen düşmeler ciddi yaralanmalara ve düşme korkusu gibi psikolojik durumlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla yaşlı bireylerin düşmelerine yönelik alınacak önlemler, bireylerin sağlıklı bir yaşam sürdürebilmeleri açısından önemlidir. Bu önlemler arasında, klinikte yaygın olarak kullanılan ölçek ve testler ile düşme riskinin değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu değerlendirmelerin uzun sürmesi ve geçerlilikleri hakkındaki tartışmaların devam etmesi, yaşlı bireylere yönelik teknoloji tabanlı çözümleri gerekli hale getirmiştir. Akıllı teknoloji çözümleri, yaşlı bireylerin düşmelerine yönelik kolay uygulanabilen ve etkili yaklaşımlar sunmaktadır. Bu nedenle, yapılan son çalışmalarda yaşlı bireylerde düşme riskini belirlemek ve düşmelere yönelik önlemler almak amacıyla çeşitli teknolojik yaklaşımlar uygulanmıştır. Bu teknolojiler, yaşlı bireylerde düşme riskinin azaltılmasında umut vadetmektedir. Yaşlı bireylere yönelik en güncel teknolojik yaklaşımlar arasında sensörler, yapay zekâ, sanal gerçeklik, akıllı evler ve robotlar yer almaktadır. Bu derlemede, yaşlı bireyler için düşmelerin önlenmesinde kullanılan akıllı teknoloji çözümlerine ilişkin güncel bilgiler sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşlı, sensör teknolojisi, düşme tespiti, yaşlı bakım teknolojisi, sanal gerçeklik, yapay zekâ

### Smart Technology Solutions in the Prevention of Falls en Elderly: A Review

#### Abstract

Due to the increase in the elderly population worldwide, necessary measures must be taken to address the health needs of elderly people. Falls are an important health problem that should be considered for elderly. Falls in elderly can lead to serious injuries and psychological conditions such as fear of falling. For this reason, precautions to be taken against falls of elderly are important for these people to lead a healthy life. These measures include assessing the risk of falling using scales and tests commonly used in clinics. The prolonged duration of these assessments and the continued discussions about their validity have made technology solutions for elderly necessary. Smart technology solutions offer easy-to-apply and effective approaches to falls among the elderly. For this reason, in recent studies, various technological approaches have been applied to determine the risk of falls in elderly people and to take precautions against falls. These technologies show promise in reducing the risk of falls in older people. The most current technological approaches for elderly include sensors, artificial intelligence, virtual reality, smart homes and robots. In this review, updated information on smart technology solutions used in the prevention of falls for elderly individuals will be presented.

**Keywords:** Elderly, sensor technology, fall detection, elderly care technology, virtual reality, artificial intelligence

<sup>1</sup>Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Eskişehir, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-2005-604X, e-mail: [eturan@ogu.edu.tr](mailto:eturan@ogu.edu.tr) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye. ORCID ID: 0009-0007-5620-5899, e-mail: [nurkucukaydin13@gmail.com](mailto:nurkucukaydin13@gmail.com)

Geliş Tarihi/Received: 12.06.2025; Kabul Tarihi/Accepted: 17.02.2026; Yayın Tarihi/Published: 31.03.2026

**Kaynak gösterimi/Citation:** Turan Kızıldoğan, E., & Küçükaydın, N. N. (2026). Yaşlılarda düşmelerin önlenmesinde akıllı teknoloji çözümleri: Derleme. *Doğu Karadeniz Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(1), 86-99. doi: 10.59312/ebshhealth.1718383

## GİRİŞ

Yaşlı bireyler, sağlık koşullarının iyileşmesi ve yaşam kalitesinin artmasına bağlı olarak geçmiş yıllara göre daha uzun yaşamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, 65 yaş ve üzeri yaşlı birey sayısının 21. yüzyılın ortalarında 2,1 milyara ulaşacağını öngörmektedir (World Health Organization, 2024). Ülkemizde ise yaşlı nüfusun son beş yılda %21,4 oranında artarak diğer yaş gruplarına göre daha yüksek bir artış gösterdiği belirtilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024). Toplam nüfus içerisindeki yaşlı birey oranının artmasına bağlı olarak, bu bireylerin sağlık ve refahlarına yönelik alınacak önlemler daha önemli hale gelmiştir.

Dünya genelinde düşmeler yaşlı bireyler için önemli bir sağlık sorunudur. Dünya Sağlık Örgütü, dünyada her yıl ölümlerle sonuçlanan yaklaşık 684 bin düşmenin meydana geldiğini ve bu düşmeleri büyük oranda 65 yaş üstü bireylerin oluşturduğunu belirtmiştir (World Health Organization, 2021). Yaşlı bireylerde meydana gelen görme bozuklukları, işitme sorunları, kas güçsüzlüğü ve denge kayıplarına bağlı olarak düşme riski artmaktadır (Ho ve ark., 2022). Yaşlı bireylerde düşmeler, kırık ve kafa travması gibi ciddi yaralanmalar ve hatta ölümlerle de sonuçlanabilmektedir. Yaşlı bireylerde düşmelere bağlı meydana gelen yaralanmaların, sağlık giderlerini önemli oranda artırdığı ifade edilmiştir (Singh ve ark., 2020). Düşmeler depresyon ve düşme korkusu gibi psikolojik durumlara da sebep olabilmektedir. Yaşlı bireylerin düşme korkusu nedeniyle kendilerini kısıtladıkları, fiziksel aktivitelerinin ve sosyal katılımlarının azaldığı ifade edilmiştir (Lord ve ark., 2021). Tüm bu olumsuz sonuçlar nedeniyle düşmeleri önlemeye yönelik uygulanacak çözümler, yaşlı bireylerin sağlıkları ve yaşam kaliteleri açısından oldukça önemlidir. Aynı zamanda uygulanacak çözümlerin düşme ile ilişkili sağlık bakım maliyetlerini önemli ölçüde azaltabileceği belirtilmiştir (Singh ve ark., 2020).

Yaşlı bireylerin düşme riskini belirlemek için klinikte yaygın olarak uygulanan ölçek ve testler bulunmaktadır. Berg denge ölçeği, Hendrich II düşme riski ölçeği ve zamanlı kalk yürü testi en sık kullanılan klinik değerlendirme yöntemleri olarak gösterilmiştir (Park, 2018). Ancak yaşlı bireylerde düşme riskini değerlendirmeye yönelik kullanılan ölçeklerin geçerliliği konusunda tartışmalar halen devam etmektedir. Ayrıca bu değerlendirme ölçeklerinin uzun sürmesi, sağlık çalışanlarının zamanını almakta ve yaşlı bireylerin sıkılmasına yol açmaktadır (Monfared ve ark., 2015). Dolayısıyla yaşlı bireylerde düşme riskinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve düşmelerin önlenmesine yönelik kanıt düzeyi yüksek ve fazla zaman gerektirmeyen çözümlere ihtiyaç vardır. Son yıllarda, yaşlı bireylerin düşme riskinin belirlenmesi ve düşmelere yönelik önlemlerin alınması amacıyla yapılan çalışmaların önemli ölçüde artış gösterdiği belirtilmiştir (Karar ve ark., 2022). Yaşlı bireylerin düşme riskinin tespitinde ve önlenmesinde akıllı teknolojileri çözümlerinin kullanıldığı çalışmalar Tablo 1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yaşlı Bireylerin Düşme Tespiti ve Önlenmesi İçin Akıllı Teknoloji Çözümleri

Yazar/Yıl	Kullanılan akıllı teknolojiler	Akıllı teknolojilerin kullanım amacı	Avantajlar	Dezavantajlar
Hsu ve ark. (2012)	Sensörlü yardımcı cihazlar	Akıllı tekerlekli sandalye ile yaşlı bireylerin günlük yaşam aktivitelerini güvenli bir şekilde yerine getirmesine yardımcı olmak	Bireylerin bağımsızlığını artırma, bireye göre uyarlanabilme ve ergonomik tasarım	Batarya ömrünün sınırlı olması, yüksek maliyet, periyodik bakım gereksinimi
Hao ve ark. (2019)	Ortam sensörleri	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Gizliliğin korunması, ışık seviyesinden ve kameranın görüş açısından etkilenmeme, düşük maliyet	Hassas kalibrasyon gereksinimi, başka cihazların sinyallerinden etkilenebilme
Cella ve ark. (2020)	Robotlar	Yaşlı bireylerde düşme riski tahminleme	Kapsamlı risk değerlendirmesi, geliştirilebilir ve güncellenebilir sistem	Yüksek maliyet, teknik bakım ve yazılım güncellemeleri gereksinimi
Zahedian Nasab ve ark. (2021)	Sanal gerçeklik	Sanal gerçeklik tabanlı egzersiz eğitiminin, yaşlı bireylerin denge ve düşme riski üzerine etkisini incelemek	Egzersiz motivasyonu ve katılımını artırma, egzersizlerin zorluk seviyesinin ayarlanabilmesi	Yaşlılar için uyum problemleri, gerekli ekipmanların pahalı olması
Vaiyapuri ve ark. (2021)	Akıllı evler	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Eş zamanlı düşme tespiti yapılabilmesi, kapsamlı olarak veri toplayabilme, otomatik uyarı gönderebilme	Bakım maliyeti, internet bağlantısı gereksinimi, veri güvenliği ve gizlilik sorunları
Kulurkar ve ark. (2023)	Giyilebilir sensörler Yapay zekâ	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Kişinin eş zamanlı ve sürekli olarak izlenebilmesi, gizliliğin korunması	Sensör takma zorunluluğu, uzun pil ömrü gereksinimi
Hassan ve ark. (2023)	Ortam sensörleri	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Düşük maliyet, enerji tüketiminin az olması, gizliliği koruma	Görüş açısının sınırlı olması, ortam koşullarına duyarlı olma
Alharbi ve ark. (2023)	Akıllı evler Yapay Zekâ	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Kişinin vücuduna cihaz takılmadan takip edilebilmesi, düşmenin anında tespit edilebilmesi	Sistemin sınırlı bir alanı kapsamaması, zemin yapısındaki değişikliklere duyarlı olma
Yamada ve ark. (2024)	Görsel sensörler	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Gizliliğin korunması, yüksek hassasiyet ve eş zamanlı düşme tespiti	Yüksek maliyet, kurulum ve bakım zorlukları
Sanchez ve ark. (2024)	Sanal Gerçeklik	Sanal gerçeklik tabanlı egzersiz eğitiminin, düşme riskine sahip yaşlı bireylerde denge üzerine etkisini incelemek	Egzersiz motivasyonu ve katılımını artırma, farklı mekanlarda uygulanabilir olması	Yaşlılar için uyum problemleri, teknik donanım gereksinimi, yüksek maliyet
Elwaly ve ark. (2024)	Robotlar	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Yaşlı bireylerin sürekli olarak takip edilebilmesi, çeşitli sensörlerin bir arada kullanılabilmesi	Gizlilik sorunu, yüksek maliyet, teknik kurulum ve bakım zorlukları
Gangadhar ve ark. (2025)	Giyilebilir sensörler Yapay zekâ	Yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak	Düşmelerin eş zamanlı tespit edilebilmesi, düşük maliyet, gizliliğin korunması	Pil ömrünün kısa olması, vücuda takılan sensörün kullanıcıyı rahatsız edebilmesi

Yapılan son çalışmalarda, yaşlı bireylerin sağlık ihtiyaçlarına yönelik teknolojik çözümler gündeme gelmiştir (Maresova ve ark., 2018; Iancu ve Iancu, 2020; Durgun, 2023). Teknolojik çözümlerin yaşlı bireylerde düşme riskinin değerlendirilmesi açısından objektif, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olduğu ifade edilmiştir (Sun ve Sosnoff, 2018). Bu nedenle yaşlı bireylerin refahını artırmaya yönelik yenilikçi programların geliştirilmesinin, yaşlı bireylerin bağımsızlıklarının devam ettirilmesi ve yaşlı sağlığının korunması açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Yaşlı bireylerde düşme riskini erken dönemde tespit edebilen ve kişiye özel müdahale imkânı sunan sağlık teknolojilerinin, bireylerin sağlık ihtiyaçlarına yönelik etkili çözümler sağladığı belirtilmiştir (Hsieh ve ark., 2023).

Akıllı teknoloji çözümlerinin yaşlı bireylerde düşme riskini önemli ölçüde azaltabileceğini, dengeyi iyileştirebileceğini ve bağımsız yaşamı destekleyebileceğini gösterilmektedir, ancak etkinlik müdahale türüne ve kullanıcı bağlamına göre değişiklik göstermektedir. Bu derleme yaşlı bireylerde düşmelerin tespiti ve önlenmesine yönelik akıllı teknoloji çözümlerinin incelenmesini amaçlamaktadır.

## DÜŞMELERE YÖNELİK TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Teknolojideki son gelişmeler analog ve mekanik cihazlardan bilgisayarlara, akıllı telefonlara, internete, robotlara ve sayısız teknolojik cihazlara geçişi mümkün kılmaktadır (Schulz ve ark., 2015). Teknolojik gelişmeler, yaşlı bireylerin düşmelerine yönelik çeşitli teknolojik yaklaşımların sağlanmasına da imkan tanımıştır. Yaşlı bireylerin düşmelerini önlemeye yönelik kullanılacak teknolojik yaklaşımların, geleneksel yaklaşımlardan daha etkili ve verimli olduğu ifade edilmiştir. Özellikle ev ortamında düşmeleri önlemeye yönelik teknolojik yaklaşımların kullanılması, yaşlı bireylerin bağımsızlıklarını sürdürmelerine ve bireylerin uzaktan izlenerek gerekli müdahalelerin zamanında uygulanmasına katkı sağlamaktadır (Oh-Park ve ark., 2021). Bununla birlikte, teknolojik yaklaşımlar sayesinde yaşlı bireylere yönelik düşme tespiti yapılarak düşmelerden kaynaklanan olumsuzlukların en aza indirilebileceği belirtilmiştir (Pereira & Kanashiro, 2022). Yaşlı bireylerin, daha güvenli ve bağımsız bir yaşam sürdürmeleri amacıyla geliştirilen bu teknolojik yenilikleri kullanmaya istekli oldukları ifade edilmiştir (Savaş, 2020). Yaşlı bireylerin düşmelerine yönelik teknolojik yaklaşımlar; sensörlü yardımcı cihazlar, sensörler, yapay zekâ, sanal gerçeklik, akıllı evler ve robotlar olarak ele alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Yaşlı Bireylerin Düşmelerine Yönelik Akıllı Teknoloji Çözümleri

## Sensörlü Yardımcı Cihazlar

Yapılan çalışmalarda, baston, tekerlekli sandalye ve yürüteç gibi yürüme yardımcısı cihazlara farklı özellikler eklenerek sensörlü yardımcı cihazlar tasarlanmıştır. Akıllı baston uygulamaları, yaşlı bireylerde düşme sorunlarına yönelik teknolojik çözümler arasında yer almaktadır. Yapılan bir çalışmada, Çinli yaşlı bireylerin akıllı bastona yönelik kabullenme düzeyini incelemiş; algılanan fayda, kullanım kolaylığı, sosyal etki gibi faktörler incelenmiştir (Chen ve ark., 2025). Sensörlü yardımcı cihazlarda, düşme ile sonuçlanabilecek ani hareketleri tespit eden ve düşme gerçekleştiğinde öncesinde kaydedilmiş numaraları otomatik olarak arayan cep telefonu özelliği de bulunmaktadır (Marques ve ark., 2013). Hsu ve ark (2012) yaptıkları çalışmada, robotik ve tele-sağlık çözümlerini bir araya getiren robotik bir tekerlekli sandalye geliştirmiştir. Bu tekerlekli sandalyenin navigasyon özelliği ve transfer yardımı sayesinde, yaşlı bireylerin güvenli bir şekilde transferleri gerçekleştirilmektedir (Hsu ve ark., 2012). Sensörlü yardımcı cihazlar, sensör teknolojisine sahip olmalarına rağmen yürüme yardımcısı cihaz olarak sınıflandırılmıştır. Bunun nedeni, bu cihazların temel görevinin bireylerin mobilite yeteneğini artırmaya yardımcı olmasıdır (Marques ve ark., 2013). Yapılan son çalışmalar incelendiğinde, sensörlü yardımcı cihazların yaygın olarak kullanılmadığı bunların yerine kolay taşınabilen vücut sensörlerinin tercih edildiği görülmüştür.

## Sensörler

Yaşlı bireylerde dengeyi ve düşmeleri analiz etmek için sensör verileri kullanılmaktadır. Sensör sinyallerini tespit eden cihazların, yaşlı bireylerin düşme tespitine ve sağlık hizmetlerinin en uygun hale getirilmesine yardımcı olabileceği belirtilmiştir (Marques ve ark., 2013). Sensörler genel olarak giyilebilir sensörler, görsel sensörler ve ortam sensörleri olarak üç kısımda incelenmektedir. (Wang ve ark., 2020).

Giyilebilir sensörler, yapılan aktiviteleri algılamak amacıyla insan vücuduna takılan sensörlerdir (Zitouni ve ark., 2019). Giyilebilir sensörler, düşmelerin algılandığı andan sağlık ekiplerine yaşlıların konumları içeren bir uyarı göndermektedir. Giyilebilir sensörler, yaşlı bireylerin hareketlerini ve konumlarını izleyen sensör ve aktüatörleri içermektedir. Ayrıca yaşamsal belirtileri, vücut duruşunu, vücut ısısını ve çevrenin izlenmesini de sağlarlar. Giyilebilir sensörler olarak ivmeölçer, jiroskop, manyetometre ve barometre kullanılmaktadır (Saleh ve Jeannes, 2019). Bet ve ark (2019) tarafından yapılan bir sistematik incelemeye göre, günümüzde yaşlı bireylerin hareketlerini tespit etmek için en sık kullanılan giyilebilir sensörlerin ivmeölçer ve jiroskop olduğu belirtilmiştir. Giyilebilir sensörler vücudun farklı bölgelerine takılabilirler. Bu sensörler için bilek bölgesinin sık tercih edilmesine rağmen sensörün lomber bölgeye yerleştirilmesinin, düşmelerin daha doğru algılanmasını sağladığı ifade edilmiştir (Özdemir, 2016). Gangadhar ve ark (2025), yaşlı bireylerde meydana gelen düşmeleri eş zamanlı olarak tespit edebilmek için giyilebilir sensörlerden elde edilen verileri kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin yüksek doğruluk ile düşmeleri tespit edebildiği ve yaşlı bakımında etkili bir destek sağlayabileceği ortaya konulmuştur (Gangadhar ve ark., 2025).

Görsel sensör sistemleri, bir veya daha fazla sayıda kameranın kişiyi izlemek için sabit bir konuma yerleştirilmesiyle kurulmaktadır (Ozcan ve ark., 2016). Bu sistemlerde, kamera görüntülerindeki baş

pozisyonu ve ağırlık merkezi kullanılarak oluşturulan algoritma sayesinde düşme tespiti yapılmaktadır (Min ve ark., 2018). Yaşlı bireylerde görülen hafıza kayıpları ve unutmalar nedeniyle, yaşlı bireylerin sürekli kullanım gerektiren giyilebilir sensörleri düzenli kullanamadıkları belirtilmiştir. Görsel sensörlerin en büyük avantajının, yaşlı bireylerin yorulmasına gerek kalmadan kameralar sayesinde elde edilen veriler ile düşmeyi tespit etmek olduğu ifade edilmiştir (Kong ve ark., 2019). Ancak kameralardan elde edilen video içeriğinin saklanması gizlilik sorunlarına yol açabilmektedir. Günümüzde Microsoft Kinect gibi maliyeti ucuz derinlik kameralarının, karşılaşılan bazı sorunları çözebileceği ve yaşlı bireylerin düşme tespiti için faydalı olabileceği belirtilmiştir (Shojaei-Hashemi ve ark., 2018). Son yıllarda yapılan bir araştırmada, yaşlı bireyler için gizliliği koruyarak ortam sensörlerine dayalı bir düşme tespit sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistemin düşmeleri etkili bir şekilde tespit edebildiği ortaya konulmuştur (Yamada ve ark., 2024).

Ortam sensörleri olarak aktif kızılötesi, radyo frekans ile tanımlama, basınçlar, akıllı döşemeler, manyetik butonlar, doppler Radar, ultrasonik ve mikrofon gibi sensörler düşmeye bağlı çevresel değişiklikleri tespit etmek için kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2020). Ortam sensörlerine dayalı düşme algılama sistemleri, ses ve titreşim bilgileri gibi çevresel değişiklikleri düşme riskini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin fazla ekipman gerektirdiği ve ev ortamına uyarlanmasının zor olduğu belirtilmiştir (Hao ve ark., 2019). Yapılan son çalışmalarda, kablosuz tekniklerdeki hızlı gelişmeler sayesinde karşılaşılan zorluklara çözüm bulmak için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Wang ve ark (2016), WiFi alıcı cihazlarını kullanarak gerçek zamanlı ve düşük maliyetli bir düşme algılama sistemi olan RT-fall sistemini tasarlamışlardır. Bu sistemin, düşmeleri algılamak için büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir (Wang ve ark., 2016). Hassan ve ark (2023) yaptıkları çalışmada, yaşlı bireylere yönelik düşme riski tespitinde duvara tespit edilebilen pasif kızılötesi tabanlı bir ortam sensörü sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemin, düşük maliyet ve yüksek doğruluk oranı ile düşme riskini tespit edebildiği belirtilmiştir (Hassan ve ark., 2023).

## **Yapay Zekâ**

Gelişen teknoloji sayesinde yapılan son çalışmalarda, yaşlı bireylerde düşme tespiti için yapay zekâ yöntemlerinin oldukça sık kullanıldığı görülmektedir. Yapay zekâ modelleri, yalnızca yaş, sağlık durumu, kronik hastalıklar gibi demografik verileri değil; aynı zamanda yürüme, denge, fiziksel fonksiyon testi sonuçları gibi sensör ve ölçüm verilerini kullanarak yaşlı bireylerin düşme riskini öngörmektedir. Özellikle yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin, giyilebilir sensörlerden veya görüntü işleme sistemlerinden elde edilen verileri analiz ederek düşme riski taşıyan durumları yüksek doğruluk ile tespit edebildiği ortaya konulmuştur (Villegas-Ch ve ark., 2022; Usmani ve ark., 2021). Yoo ve Oh (2018), yaşlı bireylerde meydana gelen düşmeleri tespit etmek amacıyla yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Yapay sinir ağı tabanlı derin öğrenme yöntemi kullanılarak, bileğe yerleştirilen sensör ivmeleri sayesinde düşmeler tahminlenmiştir. Geliştirilen bu yöntemin düşmeleri %100 doğrulukla tespit edebildiği belirtilmiştir (Yoo ve Oh, 2018). Nait-Aicha ve ark (2018) tarafından yapılan çalışmada, ivmeölçer verileri kullanılarak düşme riski tahminlemesi yapılmıştır. Giyilebilir sensör verilerine dayanarak derin öğrenme yöntemiyle yapılan bu çalışmanın, düşme riskini doğru bir şekilde belirlediği ortaya konulmuştur (Nait-Aicha ve ark., 2018). Vidigal

ve ark (2015) tarafından yapılan çalışmada, yaşlı bireylerde düşme tespiti için kullanılan farklı yapay sinir ağ modelleri incelenmiştir. Çok katmanlı algılayıcı modelin, düşük hata oranıyla yaşlılarda düşme riskini tahminleyen en iyi yapay sinir ağı modeli olduğu ifade edilmiştir (Vidigal ve ark., 2015). Badgular ve Pillai (2020), yaşlı bireylerde makine öğrenmesi yöntemini kullanarak sensör verilerine dayalı bir düşme riski tahmin modeli oluşturmuştur. Oluşturulan modelde, üç eksenli ivmeölçerden elde edilen yürüme verilerinin kaydedildiği SisFall veri seti kullanılmıştır. Tahmin modelinin %96 oranında doğruluk ile düşmeleri tespit ettiği belirtilmiştir (Badgular ve Pillai, 2020). Kulurkar ve ark (2023) tarafından yapılan çalışmada ise yapay zekâ tabanlı derin öğrenme yöntemi kullanılarak, yaşlı bireylerde düşmeleri tespit edebilen bir model (IoT) geliştirilmiştir. Bu modelde, giyilebilir sensörler aracılığıyla toplanan veriler yapay zekâ algoritmalarıyla analiz edilerek düşme riski tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonunda, geliştirilen modelin düşmeleri yüksek doğruluk oranıyla tespit ettiği ortaya konulmuştur (Kulurkar ve ark., 2023).

Makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak yaşlılarda düşme riski tespiti yapılan bir çalışmada, veri setinde yer alan kişilerin fiziksel ve klinik özelliklerinin yanı sıra, girdi ve çıktılarının elde edilmesi için düşme riski değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında düşme tahmininin sonuçlarına dayanarak yaşlı bireylerin düşme oranlarını azaltmak için bireyselleştirilmiş düşme önleme müdahaleleri geliştirilebileceği ifade edilmiştir (Gürcan ve ark.,2025).

Yapay zekâ, özellikle makine öğrenimi ile klinik verilerin analiz edilmesi sonucunda yaşlılarda düşme riskini değerlendirmek için giderek daha fazla kullanılacağı düşünülmektedir. Yapay zekâ uygulamalarının standart klinik değerlendirmelere kıyasla daha objektif, veriye dayalı tahminler sunarak geleneksel düşme riski değerlendirmelerinin yerini alacağı öngörülmektedir.

## **Sanal Gerçeklik**

Sanal gerçeklik teknolojisi kişisel bilgisayarlar, mobil cihazlar, video oyun konsolları gibi özel ekipmanlar aracılığıyla uygulanmaktadır (Kaminska ve ark., 2018). Sanal gerçeklik uygulamaları görsel, işitsel ve dokunsal ekranlar aracılığıyla kullanıcıya duysal bilgi sağlayan teknolojilerden meydana gelmektedir. Kullanıcının sanal ortamın içinde bulunmadığı sanal gerçeklik uygulamalarında, kumanda kolları veya duysal eldivenler gibi arayüzler dokunsal geri bildirim sağlamaktadır. Kullanıcının VR gözlük sayesinde sanal ortamın içinde bulunduğu sürükleyici sanal gerçeklik sistemleri ise özel tasarlanmış grafikler veya 360 derece video görüntüleri aracılığıyla oluşturulmaktadır (Appel ve ark., 2020).

Yaşlı bireylerin sanal gerçeklik deneyimlerinin incelendiği bir çalışmada, sanal gerçekliğin algılanan fayda, kullanım kolaylığı ve alınan keyif açısından yaşlılar arasında yüksek kabul gördüğü belirtilmiştir (Syed-Abdul ve ark., 2019). Zahedian-Nasab ve ark (2021) tarafından yapılan çalışmada, sanal gerçeklik egzersizlerinin yaşlı bireylerde denge ve düşme korkusu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Etkileşimli bir sanal ortam oluşturması açısından Xbox Kinect kullanılmıştır. Çalışma sonunda sanal gerçeklik egzersizlerinin, yaşlı bireylerde denge ve düşme korkusunu olumlu yönde etkileyebileceği ifade edilmiştir (Zahedian-Nasab ve ark., 2021). Yapılan sistematik bir incelemede, yaşlı bireylerde uygulanan sanal gerçeklik temelli egzersizlerin

geleneksel denge eğitimlerine kıyasla üstün sonuçlar gösterdiği ortaya konulmuştur (Rodriguez-Almagro ve ark., 2024). Kaminska ve ark (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Xbox 360 Kinect kullanılarak gerçekleştirilen sanal gerçeklik eğitiminin, yaşlı bireylerin düşme riski üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda sanal gerçeklik eğitiminin, yaşlı bireylerin statik ve dinamik dengelerini iyileştirerek düşme riskini azaltmaya yardımcı olabileceği ifade edilmiştir (Kaminska ve ark., 2018). Sanchez ve ark (2024) tarafından yapılan çalışmada, yaşlı bireylerde düşme riskini azaltmak ve dengeyi geliştirmek için sanal gerçeklik tabanlı bir eğitim programı oluşturulmuştur. Yaşlı bireylere, 16 hafta boyunca haftada bir kez olmak üzere sanal gerçeklik tabanlı denge eğitimi verilmiştir. Çalışmanın sonunda, sanal gerçeklik eğitiminin yaşlı bireylerde dengeyi iyileştirdiği ve düşme riskini azalttığı ortaya konulmuştur (Sanchez ve ark., 2024).

Meta analiz çalışmasında, Sanal gerçeklik uygulamasının, uygulama süresi ve sıklığı konusunda kesin bir görüş sunmamakla birlikte yaşlı bireylerde dengeyi iyileştirerek güven duygusunu artıran ve sonuçta düşme korkusunu azaltarak düşmenin önlenmesi konusunda umut vaat eden bir strateji olduğunu ortaya çıkarmıştır (Saragih ve ark.,2025).

Son yıllarda yapılan araştırmalarda, randomize kontrollü çalışmalar ve meta analizlerden elde edilen kanıtlar doğrultusunda, sanal gerçeklik müdahalelerinin hem sağlıklı hem de bilişsel bozukluğu olan yaşlı bireylerde dengeyi ve mobilitayı artırarak düşme korkusunu da azaltacağı vurgulanmaktadır.

## **Akıllı Evler**

Yaşlı bireylerin kendi evlerinde bağımsız ve güvenli bir şekilde hayatlarını sürdürmeleri için bireylerin düşmelerini önlemeye yönelik ev tabanlı çözümler tercih edilmektedir. Akıllı ev sistemlerinin, yaşlı bireylerin gereksinimlerini karşılamak ve düşmelerini önlemek amacıyla son zamanlarda dikkat çeken bir yaklaşım haline geldiği ifade edilmiştir (Sanchez ve ark., 2017). Akıllı evlerde bulunan sağlık izleme sistemleri, geleneksel sağlık hizmetlerini tamamlayan çözümler sağlamaktadır. Akıllı evlerde bulunan kameralar ve zemin sensörleri gibi cihazlardan elde edilen veriler, yaşlı bireylerin sağlık durumlarının izlenmesi ve düşmelerine yönelik önlemlerin alınması amacıyla değerlendirilmektedir (Jaouhari ve ark., 2019). Akıllı evlerde, yaşlıların fizyolojik belirtileri güvenli bir iletişim platformu üzerinden basit ve düşük maliyetli bir şekilde izlenebilmektedir. Bu sayede uzun vadeli sağlık hizmetleri için uygun ve düşük bütçeli bir çözüm sağlamaktadır (Majumder ve ark., 2017). Jo ve ark (2021) tarafından yapılan çalışmada, yaşlı bireylerin akıllı ev sistemlerine ilişkin algısı incelenmiştir. Bu çalışmada, yaşlı bireylerin akıllı ev sistemlerinin faydalarına yönelik farkındalık kazandıktan sonra bu sistemlerin gerekliliğini benimsedikleri ve bu sistemleri kullanmak için istekli oldukları belirtilmiştir (Jo ve ark., 2021). Vaiyapuri ve ark (2021) tarafından geliştirilen akıllı ev sisteminde, Nesnelerin interneti (IoT) kullanılarak yaşlı bireylerde düşme tespiti yapmak için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, kameralar ile düşme tespit edildikten hemen sonra yaşlı bireylere bakım veren kişilere ve hastanelere uyarı gönderilmektedir. Çalışma sonunda, geliştirilen akıllı ev modelinin %99 doğruluk oranıyla yaşlı bireylerde düşmeleri tespit ettiği ortaya konulmuştur (Vaiyapuri ve ark., 2021). Alharbi ve ark (2023) tarafından yapılan çalışmada ise Nesnelerin interneti (IoT) ve Yapay zekâ yöntemleri kullanılarak, ev zeminine yerleştirilen etiketler ile yaşlı bireylerde düşmelerin tespit edildiği bir akıllı ev

sistemi geliştirilmiştir. Düşme tespit edildiğinde, sistem tarafından bakım veren kişilere ve aile üyelerine alarm gönderilmektedir. Geliştirilen sistemin yüksek doğruluk oranıyla düşmeleri tespit edebildiği ve yalnız yaşayan yaşlı bireylerin düşme riski açısından güvenliğini sağlamaya katkıda bulunabileceği ifade edilmiştir (Alharbi ve ark., 2023). Akıllı ev teknolojilerinin yaşlı bireylerin evde bağımsız yaşamlarını desteklemesine rağmen bu bireylerin akıllı evleri kullanma konusundaki teknoloji hazırlık düzeyinin düşük olması sürdürülebilir kullanım açısından engel oluşturabilecektir. Mahremiyet, etik, gözetim ve sürekli izleme gibi etkilerin yaşlılarda rahatsızlık hissi ve psikososyal kaygı oluşturabileceği de düşünülmektedir.

## **Robotlar**

Son on yılda, birçok ülkenin yaşlı bakım alanında kullanılan robot endüstrisinin gelişmesini teşvik edecek önemli politikalar uyguladığı belirtilmiştir (Zhao ve ark., 2023). Robot teknolojisi yaşlı bireylerin bağımsız bir yaşam sürdürmesi ve sağlık ihtiyaçlarının karşılanması için umut vadeden yenilikler sunmaktadır (Padhan ve ark., 2023). Robotlar yaşlı bireylerin bakımında çeşitli fonksiyonları yerine getirmek için kullanılmaktadır. Bunlar günlük yaşam aktivitelerine yardımcı olmak, sağlık durumunun takip edilmesi, gerekli ihtiyaçların hatırlatılması ve yaşlı bireyler ile iletişim kurularak sosyal destek sağlanmasıdır (Vercelli ve ark., 2018).

Yapılan son çalışmalarda postüral kontrol ve dengeyi değerlendirebilen robotik cihazların geliştirilmesi klinik araştırmalar için yenilikçi yaklaşımlar sağlamıştır. Cella ve ark (2020) tarafından yapılan çalışmada, denge parametrelerinin değerlendirilmesi için yeni geliştirilen Hunova adlı robot kullanılmıştır. Bu robotun, düşme riski yüksek yaşlı bireyleri doğru bir şekilde belirlemek için klinik ortamlarda kullanabileceği ve uygun düşme önlemlerinin alınmasına katkıda bulunabileceği ortaya konulmuştur (Cella ve ark., 2020). Maneproom ve ark (2019), bakım evlerinde yaşayan yaşlılarda uyguladıkları düşme önleme programı için Dinsow Mini adlı robotu kullanmıştır. Robot kullanılarak gerçekleştirilen programın, denge ve düşme sıklığı üzerine etkisi incelenmiştir. Robot yazılımında uygun yürüme yardımcısı ve ayakkabı seçimi ile ilgili videolar, denge egzersizleri videoları ve egzersiz hatırlatıcı sesli mesajlar yer almaktadır. Çalışma sonunda robot kullanılarak gerçekleştirilen düşme önleme programının, düşme konusunda farkındalık oluşturduğu ve denge egzersizlerini yapmak için yaşlı bireyleri motive ettiği belirtilmiştir (Maneeprom ve ark., 2019). 2024 yılında yapılan bir çalışmada, yaşlı bireylerin güvenliğini artırmak amacıyla düşme tespiti yapabilen bir yaşlı bakım robotu tasarlanmıştır. Robota yerleştirilen kameralar aracılığıyla elde edilen görüntüler, derin öğrenme tabanlı bir model (YOLOv7) ile gerçek zamanlı olarak işlenmekte ve analiz edilmektedir. Bu sayede, düşmelerin yüksek doğruluk ve hassasiyet ile tespit edilebildiği ifade edilmiştir. Çalışmanın sonunda, tasarlanan robotun, yaşlı bireylerin yaşam kalitelerini artırmak için etkili olabileceği ortaya konulmuştur (Elwaly ve ark., 2024).

Gelecekte robotlar, ev güvenliği değerlendirmelerini uzaktan destekleyerek, yaşam ortamlarındaki risk faktörlerini daha iyi tespit edebilecektir. Yaşlı bireylere özel tasarlanan robotların sadece düşme riskini değerlendirmeyeceği sonrasında düşmeleri önlemek veya etkilerini azaltmak için aktif olarak müdahale edebileceği de düşünülmelidir.

Robotların yaşlı bakımında günlük yaşam aktivitelerindeki fiziksel olarak yorucu (transfer, taşıma, kaldırma gibi) görevleri üstlenerek bakım verenlerin yükünü azaltabileceği düşünülmektedir. Ancak tüm bu faydalar ile birlikte yaşlı bakımı alanında yüksek maliyet, erişilebilirlik, bakım etiği ve uygulanabilirlik bağlamındaki kısıtlılıklara yönelik çözümler oluşturulmalıdır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşlı bireylerde meydana gelen düşmeler, önemli bir sağlık sorunu oluşturmaktadır. Düşmelerin meydana gelmeden tespit edilmesi ve önlenmesi, yaşlı bireylerin refahı ve yaşam kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda, yaşlı bireylere yönelik akıllı teknoloji çözümleri geliştirilmiştir. Sensörler, yapay zekâ ve sanal gerçeklik gibi akıllı teknolojiler kullanılarak yaşlı bireylerin düşme tespiti daha hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu çalışmanın, klinisyenler ve araştırmacılar için yaşlı bireylerin düşme riskinin belirlenmesinde, akıllı teknoloji çözümlerinin seçimine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Akıllı teknolojiler sayesinde, klinisyenlerin iş yükü azaltılarak düşme riski yüksek yaşlılar kolay ve objektif bir şekilde belirlenebilir. Nüfusun yaşlanması ile birlikte, sağlık ve bakım hizmetlerine olan talebi artırırken, geleneksel bakım modellerinin sürdürülebilirliği olumsuz etkilenebilir. Ulusal sağlık politikalarına teknoloji entegrasyonu ile yaşlı bireylerin sağlık hizmetlerine erişimin artması, sosyal izolasyon ve yalnızlığın azalması ve toplumsal yaşama katılımı desteklemesi mümkün olacaktır. Yaşlı bireylere yönelik geliştirilen akıllı teknoloji çözümlerinin, bu bireylerin bağımsız ve güvenli bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Gelecekte planlanacak çalışmalarda, yaşlı bireyler için akıllı teknoloji çözümlerinin kullanılacağı uygulama ortamlarının değerlendirilmesi, kullanım karmaşıklığının dikkate alınması, tedavi programlarına entegrasyonu ve gerçek yaşam ortamında uygulanabilirliğinin incelenmesi önerilmektedir.

**Çıkar Çatışması:** Çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Yazar Katkıları:** Planlama: ETK, NNK; Literatür tarama: NNK; Yazım: ETK, NNK, Eleştirel Okuma; ETK

## KAYNAKLAR

- Alharbi, H. A., Alharbi, K. K., & Hassan, C. A. U. (2023). Enhancing elderly fall detection through iot-enabled smart flooring and ai for independent living sustainability. *Sustainability*, 15(22), 15695. <https://doi.org/10.3390/su152215695>
- Appel, L., Appel, E., Bogler, O., Wiseman, M., Cohen, L., Ein, N., Abrams, H. B., & Campos, J. L. (2020). Older Adults With Cognitive and/or Physical Impairments Can Benefit From Immersive Virtual Reality Experiences: A Feasibility Study. *Frontiers in medicine*, 6, 329. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00329>
- Badgjar, S., & Pillai, A. S. (2020, July). Fall detection for elderly people using machine learning. In *2020 11th international conference on computing, communication and networking technologies (ICCCNT)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT49239.2020.9225494>
- Bet, P., Castro, P. C., & Ponti, M. A. (2019). Fall detection and fall risk assessment in older person using wearable sensors: A systematic review. *International journal of medical informatics*, 130, 103946. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.08.006>

- Cella, A., De Luca, A., Squeri, V., Parodi, S., Vallone, F., Giorgeschi, A., Senesi, B., Zigoura, E., Quispe Guerrero, K. L., Siri, G., De Michieli, L., Saglia, J., Sanfilippo, C., & Pilotto, A. (2020). Development and validation of a robotic multifactorial fall-risk predictive model: A one-year prospective study in community-dwelling older adults. *PLoS one*, 15(6), e0234904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234904>
- Chen, Y., An, Y., Chen, Z., Luh, D., & Xia, T. (2025). A Study on the Acceptance of Smart Cane Technology Among Chinese Older Adults. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 13(22), 2934. <https://doi.org/10.3390/healthcare13222934>
- Durgun, Y. (2023). Fall detection systems supported by TinyML and accelerometer sensors: an approach for ensuring the safety and quality of life of the elderly. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 7(1), 55-61. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1299289>
- Elwaly, A., Abdellatif, A., & El-Shaer, Y. (2024). New eldercare robot with path-planning and fall-detection capabilities. *Applied Sciences*, 14(6), 2374. <https://doi.org/10.3390/app14062374>
- Gangadhar, C., Roy, P. P., Kumar, R. D., Ramesh, J. V. N., Ravikanth, S., & Akhila, N. (2025). Wearable sensor-based fall detection for elderly care using ensemble machine learning techniques. *Measurement: Sensors*, 39, 101870. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2025.101870>
- Gürcan ÖG., Gokdas, H., & Turan Kızıldoğan, E. (2025). Artificial Intelligence in Healthcare: Fall Risk Assessment in Older Adults by Using Machine Learning Techniques. *Politeknik Dergisi*, 28(5), 1415-1423. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1446723>
- Hao, Z., Duan, Y., Dang, X., & Xu, H. (2019, July). KS-fall: Indoor human fall detection method under 5GHZ wireless signals. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 569, No. 3, p. 032068). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/569/3/032068>
- Hassan, C. A. U., Karim, F. K., Abbas, A., Iqbal, J., Elmannai, H., Hussain, S., ... & Khan, M. S. (2023). A cost-effective fall-detection framework for the elderly using sensor-based technologies. *Sustainability*, 15(5), 3982. <https://doi.org/10.3390/su15053982>
- Ho, K. C., Gupta, P., Fenwick, E. K., Man, R. E. K., Gan, A. T. L., & Lamoureux, E. L. (2022). Association between age-related sensory impairment with sarcopenia and its related components in older adults: a systematic review. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 13(2), 811–823. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12930>
- Hsieh, K. L., Chen, L., & Sosnoff, J. J. (2023). Mobile Technology for Falls Prevention in Older Adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 78(5), 861–868. <https://doi.org/10.1093/gerona/glac116>
- Hsu, P. E., Geiser, C., Chang, K. W., Lu, J. M., & Hsu, Y. L. (2012). Development of an intelligent robotic wheelchair. *Gerontechnology*, 11(2), 340-340. <https://doi.org/10.4017/gt.2012.11.02.250.00>
- Iancu, I., & Iancu, B. (2020). Designing mobile technology for elderly. A theoretical overview. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 119977. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119977>
- Jaouhari, S. E., Palacios-Garcia, E. J., Anvari-Moghaddam, A., & Bouabdallah, A. (2019). Integrated Management of Energy, Wellbeing and Health in the Next Generation of Smart Homes. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(3), 481. <https://doi.org/10.3390/s19030481>
- Jo, T. H., Ma, J. H., & Cha, S. H. (2021). Elderly Perception on the Internet of Things-Based Integrated Smart-Home System. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(4), 1284. <https://doi.org/10.3390/s21041284>
- Kaminska, M. S., Miller, A., Rotter, I., Szylińska, A., & Grochans, E. (2018). The effectiveness of virtual reality training in reducing the risk of falls among elderly people. *Clinical interventions in aging*, 13, 2329–2338. <https://doi.org/10.2147/CIA.S183502>
- Karar, M. E., Shehata, H. I., & Reyad, O. (2022). A Survey of IoT-Based Fall Detection for Aiding Elderly Care: Sensors, Methods, Challenges and Future Trends. *Applied Sciences*, 12(7), 3276. <https://doi.org/10.3390/app12073276>

- Kong, Y., Huang, J., Huang, S., Wei, Z., & Wang, S. (2019). Learning spatiotemporal representations for human fall detection in surveillance video. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 59, 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2019.01.024>
- Kulurkar, P., kumar Dixit, C., Bharathi, V. C., Monikavishnuvarthini, A., Dhakne, A., & Preethi, P. (2023). AI based elderly fall prediction system using wearable sensors: A smart home-care technology with IOT. *Measurement: Sensors*, 25, 100614. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100614>
- Lord, S. R., Sherrington, C., & Naganathan, V. (Eds.). (2021). *Falls in Older People*. Cambridge University Press.
- Majumder, S., Aghayi, E., Noferești, M., Memarzadeh-Tehran, H., Mondal, T., Pang, Z., & Deen, M. J. (2017). Smart Homes for Elderly Healthcare-Recent Advances and Research Challenges. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(11), 2496. <https://doi.org/10.3390/s17112496>
- Maneeprom, N., Tanecepanichskul, S., Panza, A., & Suputtitada, A. (2019). Effectiveness of robotics fall prevention program among elderly in senior housings, Bangkok, Thailand: a quasi-experimental study. *Clinical interventions in aging*, 14, 335–346. <https://doi.org/10.2147/CIA.S182336>
- Maresova, P., Tomsone, S., Lameski, P., Madureira, J., Mendes, A., Zdravevski, E., Chorbev, I., Trajkovik, V., Ellen, M., & Rodile, K. (2018). Technological Solutions for Older People with Alzheimer's Disease: Review. *Current Alzheimer research*, 15(10), 975–983. <https://doi.org/10.2174/1567205015666180427124547>
- Marques, M. R., Raymundo, T. M., & Santana, C. S. (2013, December). Use of sensors systems to monitor the mobility of elderly. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 477, No. 1, p. 012010). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/477/1/012010>
- Monfared, N. R. S., Mehraban, A. H., & Boroumand, S. (2015). Effectiveness of Videogames on Balance and Fear of Falling in Chronic Stroke Patient. *Iranian Rehabilitation Journal*, 13(1).
- Nait Aicha, A., Englebienne, G., van Schooten, K. S., Pijnappels, M., & Kröse, B. (2018). Deep Learning to Predict Falls in Older Adults Based on Daily-Life Trunk Accelerometry. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5), 1654. <https://doi.org/10.3390/s18051654>
- Oh-Park, M., Doan, T., Dohle, C., Vermiglio-Kohn, V., & Abdou, A. (2021). Technology Utilization in Fall Prevention. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 100(1), 92–99. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001554>
- Ozcan, K., Velipasalar, S., & Varshney, P. K. (2016). Autonomous fall detection with wearable cameras by using relative entropy distance measure. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(1), 31-39. <https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2620904>
- Özdemir A. T. (2016). An Analysis on Sensor Locations of the Human Body for Wearable Fall Detection Devices: Principles and Practice. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(8), 1161. <https://doi.org/10.3390/s16081161>
- Padhan, S., Mohapatra, A., Ramasamy, S. K., & Agrawal, S. (2023). Artificial Intelligence (AI) and Robotics in Elderly Healthcare: Enabling Independence and Quality of Life. *Cureus*, 15(8), e42905. <https://doi.org/10.7759/cureus.42905>
- Park S. H. (2018). Tools for assessing fall risk in the elderly: a systematic review and meta-analysis. *Aging clinical and experimental research*, 30(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0749-0>
- Pereira, C. B., & Kanashiro, A. M. K. (2022). Falls in older adults: a practical approach. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 80(5 Suppl 1), 313–323. <https://doi.org/10.1590/0004-282X-ANP-2022-S107>
- Rodriguez-Almagro, D., Achalandabaso-Ochoa, A., Ibanez-Vera, A. J., Gongora-Rodriguez, J., & Rodriguez-Huguet, M. (2024). Effectiveness of Virtual Reality Therapy on Balance and Gait in the Elderly: A Systematic Review. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 12(2), 158. <https://doi.org/10.3390/healthcare12020158>
- Saragih, I. D., Chen, Y. M., Suarilah, I., Susanto, H., & Lee, B. O. (2025). Virtual Reality Intervention for Fall Prevention in Older Adults: A Meta-Analysis. *Journal of nursing scholarship : an official publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing*, 57(5), 759–775. <https://doi.org/10.1111/jnu.70028>

- Saleh, M., & Jeannes, R. L. B. (2019). Elderly fall detection using wearable sensors: A low cost highly accurate algorithm. *IEEE Sensors Journal*, 19(8), 3156-3164. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2891128>
- Sanchez, V. G., Pfeiffer, C. F., & Skeie, N.-O. (2017). A Review of Smart House Analysis Methods for Assisting Older People Living Alone. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 6(3), 11. <https://doi.org/10.3390/jsan6030011>
- Sanchez, Y. M. S., Sanchez, M. A. L., Soto, G. F. F., Reinoso, A. R. M., & Tapia, M. A. S. (2024). Promoting elderly mobility and fall prevention through virtual reality: a sustainable approach to gait balance training. *Ibero-American Journal of Education & Society Research*, 4(S), 37-45. <https://doi.org/10.56183/iberoeds.v4iS.669>
- Savaş, B. B. (2020). Aktif Yaşlanma, Yaşlılık ve Teknoloji. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, 5(2), 361-369. <https://doi.org/10.5336/healthsci.2019-71157>
- Schulz, R., Wahl, H. W., Matthews, J. T., De Vito Dabbs, A., Beach, S. R., & Czaja, S. J. (2015). Advancing the Aging and Technology Agenda in Gerontology. *The Gerontologist*, 55(5), 724-734. <https://doi.org/10.1093/geront/gnu071>
- Shojaei-Hashemi, A., Nasiopoulos, P., Little, J. J., & Pourazad, M. T. (2018, May). Video-based human fall detection in smart homes using deep learning. In *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2018.8351648>
- Singh, A., Rehman, S. U., Yongchareon, S., & Chong, P. H. J. (2020). Sensor technologies for fall detection systems: A review. *IEEE Sensors Journal*, 20(13), 6889-6919. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2976554>
- Sun, R., & Sosnoff, J. J. (2018). Novel sensing technology in fall risk assessment in older adults: a systematic review. *BMC geriatrics*, 18(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12877-018-0706-6>
- Syed-Abdul, S., Malwade, S., Nursetyo, A. A., Sood, M., Bhatia, M., Barsasella, D., Liu, M. F., Chang, C. C., Srinivasan, K., M, R., & Li, Y. J. (2019). Virtual reality among the elderly: a usefulness and acceptance study from Taiwan. *BMC geriatrics*, 19(1), 223. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1218-8>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *İstatistiklerle yaşlılar*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=İstatistiklerle-Yaslılar-2023-53710>
- Usmani, S., Saboor, A., Haris, M., Khan, M. A., & Park, H. (2021). Latest Research Trends in Fall Detection and Prevention Using Machine Learning: A Systematic Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(15), 5134. <https://doi.org/10.3390/s21155134>
- Vaiyapuri, T., Lydia, E. L., Sikkandar, M. Y., Díaz, V. G., Pustokhina, I. V., & Pustokhin, D. A. (2021). Internet of things and deep learning enabled elderly fall detection model for smart homecare. *IEEE Access*, 9, 113879-113888. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3094243>
- Vercelli, A., Rainero, I., Ciferri, L., Boido, M., & Pirri, F. (2018). Robots in elderly care. *DigitCult-Scientific Journal on Digital Cultures*, 2(2), 37-50. <https://doi.org/10.4399/97888255088954>
- Vidigal, M., Lima, M., & Neto, A. D. A. (2015, October). Elder falls detection based on artificial neural networks. In *2015 Fourteenth Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI)* (pp. 226-230). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MICAI.2015.41>
- Villegas-Ch., W., Barahona-Espinosa, S., Gaibor-Naranjo, W., & Mera-Navarrete, A. (2022). Model for the Detection of Falls with the Use of Artificial Intelligence as an Assistant for the Care of the Elderly. *Computation*, 10(11), 195. <https://doi.org/10.3390/computation10110195>
- Wang, H., Zhang, D., Wang, Y., Ma, J., Wang, Y., & Li, S. (2016). RT-Fall: A real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(2), 511-526. <https://doi.org/10.1109/TMC.2016.2557795>
- Wang, X., Ellul, J., & Azzopardi, G. (2020). Elderly Fall Detection Systems: A Literature Survey. *Frontiers in robotics and AI*, 7, 71. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00071>
- World Health Organization. (2021). *Falls*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>

- World Health Organization. (2024). *Ageing and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Yamada, S., Rizk, H., Amano, T., & Yamaguchi, H. (2023, November). Fall detection and assessment using multitask learning and micro-sized lidar in elderly care. In *International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services* (pp. 280-293). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Yoo, S., & Oh, D. (2018). An artificial neural network–based fall detection. *International Journal of Engineering Business Management*, 10, 1847979018787905. <https://doi.org/10.1177/1847979018787905>
- Zahedian-Nasab, N., Jaberi, A., Shirazi, F., & Kavousipor, S. (2021). Effect of virtual reality exercises on balance and fall in elderly people with fall risk: a randomized controlled trial. *BMC geriatrics*, 21(1), 509. <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02462-w>
- Zhao, D., Sun, X., Shan, B., Yang, Z., Yang, J., Liu, H., Jiang, Y., & Hiroshi, Y. (2023). Research status of elderly-care robots and safe human-robot interaction methods. *Frontiers in neuroscience*, 17, 1291682. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1291682>
- Zitouni, M., Pan, Q., Brulin, D., & Campo, E. (2019). Design of a smart sole with advanced fall detection algorithm. *Journal of Sensor Technology*, 9(4), 71-90. <https://doi.org/10.4236/jst.2019.94007>