

VERİ BİLİMİ DERGİSİ

www.dergipark.gov.tr/veri

e-ISSN: 2667-582X



Islak Alanlarda Mahremiyet Koruyucu Düşme Tespiti: Düşük Çözünürlüklü Termal Diziler ve Uyarlanabilir Eşikleme Kullanan IoT Entegreli Bir Sistem

İlkay ONAY¹, Kıyas KAYAALP^{2*}, Burhan DUMAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Isparta, TÜRKİYE

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Atıf Bilgisi: Onay, I., Kayaalp, K., & Duman, B. (2026). Islak Alanlarda Mahremiyet Koruyucu Düşme Tespiti: Düşük Çözünürlüklü Termal Diziler ve Uyarlanabilir Eşikleme Kullanan IoT Entegreli Bir Sistem. *Veri Bilimi*, 9(1), 1-11.

Özet

Banyo ve tuvalet gibi ıslak zeminlerde meydana gelen düşme kazaları, özellikle yaşlı ve engelli bireyler için ciddi yaralanmalara ve hatta can kayıplarına yol açan önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bu alanlarda mahremiyet kaygıları nedeniyle geleneksel optik kameraların kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, mahremiyeti ihlal etmeden banyo ortamındaki düşme eylemlerini tespit eden, Nesnelerin İnterneti entegreli düşük maliyetli bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem; Raspberry Pi uç birimi, düşük çözünürlüklü termal kamera modülü ve sesli uyarı bileşenlerinden oluşmaktadır. Yazılım mimarisinde ise Python tabanlı görüntü işleme algoritmaları ve kullanıcı etkileşimi için Flutter tabanlı bir mobil uygulama kullanılmıştır. Önerilen algoritma, bireyin vücut yüzey alanı ve ısı haritası yoğunluğunu analiz eder; zemindeki sıcak piksel yoğunluğunun belirlenen kritik eşik değerini (%40) aşması durumunda eylemi "düşme" olarak sınıflandırır. Tespit edilen acil durumlar, MQTT protokolü aracılığıyla anlık olarak mobil uygulamaya iletilerek bakıcı veya sağlık ekiplerinin en kısa sürede müdahale etmesi sağlanır. Deneyisel sonuçlar, sistemin ayakta durma, eğilme ve düşme eylemlerini başarıyla ayırt edebildiğini ve mahremiyet koruyucu bir can yeleği işlevi görebileceğini doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Islak Zemin, IoT, Termal Görüntüleme, Görüntü İşleme

Privacy Preserving Fall Detection in Wet Areas: An IoT-Integrated System Using Low-Resolution Thermal Arrays and Adaptive Thresholding

Abstract

Falls occurring on wet surfaces such as bathrooms and toilets are a significant public health issue, particularly for elderly and disabled individuals, leading to serious injuries and even fatalities. The use of traditional optical cameras in these areas is not feasible due to privacy concerns. In this study, a low-cost system integrated with the Internet of Things (IoT) has been

Makale Bilgisi

Başvuru:

02/02/2026

Kabul:

29/04/2026

* İletişim e-posta: kiyaskayaalp@isparta.edu.tr

developed that detects falls in the bathroom environment without violating privacy. The developed system consists of a Raspberry Pi edge device, a low-resolution thermal camera module, and an audio alert component. The software architecture utilizes Python-based image processing algorithms and a Flutter-based mobile application for user interaction. The proposed algorithm analyzes the individual's body surface area and heat map intensity; it classifies the action as a "fall" when the density of hot pixels on the floor exceeds a specified critical threshold value (40%). Detected emergencies are instantly communicated to the mobile application via the MQTT protocol, ensuring that caregivers or medical teams can intervene as quickly as possible. Experimental results confirm that the system can successfully distinguish between standing, bending, and falling actions and can function as a privacy-preserving life jacket.

Keywords: Wet Floor, IoT, Thermal Imaging, Image Processing

1 Giriş

Sosyal bir devletin ana sorumluluklarından birisi vatandaşlarının güvenliklerini ve sağlıklarını güvenceye almaktır. Dolayısıyla Sosyal bir devlet olan Türkiye Cumhuriyeti için vatandaşlarının sağlığının önemi paha biçilemezdir. Buna istinaden Türkiye Cumhuriyeti vatandaşlarına devlet hastaneleri ve poliklinikler gibi birçok imkanlar sunmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu [1] verilerine göre 2021 yılında genel sağlık harcamalarının %79,2'si devlet bütçesinden karşılanmıştır ve rakamsal olarak devlet bütçesinden sadece 2021 yılında 280 milyar 220 milyon TL sağlık sektörüne harcamıştır. Buradan anlaşıldığı üzere Türkiye Cumhuriyeti tıp alanına çok önem veren devletlerden birisidir. Tıp alanında, Türkiye Cumhuriyeti vatandaşlarına sağlanan önemli desteklere rağmen, vatandaşların yaşadığı kazalar sonucu meydana gelen ciddi yaralanmaların, zamanında müdahale edilemediği takdirde daha da ciddi hale gelebileceği gerçeği göz ardı edilemez. Özellikle kemik çatlaması ve kafa bölgesinde kafatası ezilmeleri gibi yaralanmalar zamanında müdahale edilmez ise bireylerde kalıcı düzeyde hasarlar bıraktığı genel olarak bilinmektedir. Buna istinaden bu tür kazaların oluşması ne kadar engellenmeye çalışılsa bile olduğu bir gerçektir ve bu tür kazalar olduğu zaman hızlı bir ilk tedavi hem Türkiye Cumhuriyeti için mali olarak hem vatandaşın sağlığı bakımından en ideal durumdur.

Kemik çatlaması ve kafatası ezilmesi gibi kalıcı etki bırakan yaralanmaların göz ardı edilemeyecek kadar büyük bir kısmı ev ortamında olmaktadır. Haytoğlu [2] tarafından yapılan çalışmalara göre başa gelebilecek tüm yaralanmaların %54'ünü ev kazaları oluşturur ve kaza nedeniyle ölümlerin %25'i evlerde meydana gelir. Evde yaşanan kazaların ise büyük bir kısmı tuvalet ve banyolarda olmaktadır. Sarohan'ın [3] çalışmalarında evde

yaşanan kazaların %30,8'lik kısmı banyo veya tuvaletlerde gerçekleşmektedir. Banyo ortamında ıslak zeminler elektrik çarpması gibi ciddi kazalara yol açması ciddi yaralanmalara sebep olmasının yanı sıra banyo ve tuvaletlerde meydana gelen kazaların en sık rastlanan kısımlarından biri ise ıslak zeminde ayak kayması sonucunda oluşmaktadır. Banyo ortamında ayak kayması sonucunda kas zedelenmesi, kırıklar, disk kayması, çarpma sonucu travma gibi ciddi yaralanmalar bireyde görülebilir.

Yapılan çalışma kullanıcı dostu bir şekilde Android ve potansiyel olarak iOS ortamından ve ayrıca potansiyel olarak akıllı bir evin ana programına entegre biçimde kişi banyoda düştüğü anda sistem, uç birimde (edge) işlediği veriyi MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokolü üzerinden Wi-Fi ağı yardımıyla anlık olarak mobil uygulamaya iletecektir. Bu cevapların arasında 112'yi aramak veya ilgili kişilere kazayı bildirmek gibi fonksiyonlar olabilir.

Çalışma konusu hakkında güncel zamanda yapılan literatür çalışmaları gözden geçirildiğinde Shilaskar vd. [4] yapay zeka kullanarak kamera yardımı ile bir insanın düşme pozisyonunda olup olmadığını tespit etmiştir. Cao vd. [5] düşme kazasının geniş bir kitle ortamında sunucuya bildiren bir düzenek geliştirmiştir. Wang vd. [6] radar kullanarak düşme eylemini tespit etmek üzerinde çalışmalar yapmıştır. Elshwemy vd. [7] encoder kullanarak termal kameralarla düşmeyi tespit etmişlerdir. Yu vd. [8] termal kamera kullanarak kişinin düşme pozisyonunda olup olmadığını tespit etmişlerdir. Lynggaard [9] düşme tespitinde termal ve hareket sensörü gibi birden fazla sensörü birleştirmek üzerinde çalışma yapmıştır. Taniguchi vd. [10] birden fazla termal sensör kullanarak düşme kazasını tespitinin oranını arttırmak üzerinde çalışmışlardır. Taramasco vd. [11] termal sensör

kullanarak yaşlıların düşme kazalarını tespit edip bakıcılara bildirmeyi başarmışlardır. Riquelme vd. [12] termal sensörlerde düşme tespiti için makine öğrenmesi kullanarak dataset hazırlamışlardır. Rezaei vd. [13] düşük çözünürlüklü termal kameralarda düşme tespitinin yakalamak için yapay zeka sistemleri kullanmak üzerinde çalışmışlardır. Vermeulen [14] termal kamera kullanarak düşme kazası tespiti yol ortasında olduğunda trafik ışıklarını kırmızı yakma sistemi üzerinde çalışmıştır. Putri vd. [15] termal sensörlü düşme tespitlerinde sıkıştırılmış model kullanmak üzerine çalışmışlardır. Luo vd. [17] termal kamera kullanılarak düşme tespitini bir ağ üzerinde toplumsal tespit etme üzerinde çalışmışlardır. Nogas vd. [18] termal kamera ile düşme tespitinde LTSM kodlama kullanılmasının daha verimli olabileceği üzerinde çalışmışlardır. Kido vd. [19] tuvalet ortamlarında termal sensör kullanarak vücut termal ısısının tepeden boyutu incelenerek düşme olup olmadığını tespit etmişlerdir. Mehta vd. [20] termal sensör ile düşme tespitinin hata oranlarını düşürmek amacıyla insan vücudunun hareketi ve çalıştığı bölgenin (açık alan vb.) farkında olan bir düşme tespiti yöntemini geliştirme üzerinde çalışmışlardır. Denkovski vd. [21] birden fazla görme sensörleri için düşme tespitinde kullanılabilecek veriseteri hazırlama üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Zhong vd. [22] termal kamera ile düşme tespitinde birden fazla kişinin olduğu ortamlarda tespit etmek üzerinde çalışmışlardır. Hayashida vd. [23] termal kamera ile düşme tespiti yapıp bunu internet kullanarak sunucuya iletme üzerinde çalışmışlardır. Naser vd. [24] Termal kamera kullanarak geniş kapsamlı (yürürken, koşarken vb.) düşme tespiti yapma üzerinde çalışmışlardır. Bharathiraja vd. [25] ESP32 ve AMG8833 termal sensörleri kullanarak düşme tespiti yapmışlardır. Hayashida vd. [26] termal kamera ile tespit işlemini sadece modülde yapmak üzerinde çalışmışlardır. Rafferty vd. [27] termal kamera ile çeşitli algoritmalar ve veri setleri kullanarak daha uzak mesafeden düşme tespiti yapmak üzerinde çalışmışlardır.

İncelenen çalışmalarda görülebildiği gibi termal sensörler ile çeşitli ortamlarda düşme kazalarını tespit etmek için ve bu bilgileri kullanıcıya sunma yolları için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bazıları düşme tespit işlemini kullanıcıya sunmak yerine alarm sistemlerine entegre etmeyi seçerken bazıları ise uyarıyı daha farklı bir amaca hizmet eden geniş bir sistemin parçası haline getirmeyi seçmişlerdir.

Bazıları ise geniş çapta düşmeyi tespit etmek için açık ortamda termal tespiti bile başvurmuştur.

Yapılan literatür taramasında var olan çalışmalar banyoda kaza önleme bakımından duşa kabin veya küçük bir küvet odacığı ortamına odaklanırken bu çalışma özel olarak banyo odasının tamamını kapsamaktadır. Ayrıca, diğer çalışmalarda banyo ortamında düşme kazası tespitinde termal kamera kullanarak 'tak ve kullan' biçiminde Android ve iOS ortamından kontrol edilebildiği gibi akıllı bir evin entegre sistemine entegre olabilen bir toplu sistem çalışmasına rastlanmamıştır. Mevcut literatür incelendiğinde, banyo gibi mahremiyetin kritik olduğu alanlarda hem uçta hesaplama (edge computing) yapabilen hem de IoT tabanlı mobil uyarı sunan entegre sistemlerin eksikliği görülmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın literatüre sunduğu temel bilimsel ve teknolojik katkılar şunlardır:

1. Mahremiyet ihlali yaratmayan düşük çözünürlüklü termal sensörler kullanılarak, doğrudan cihaz üzerinde (Raspberry Pi) veri işleyen güvenli bir IoT mimarisi sunulmuştur.
2. Bireyin vücut yüzey alanı (BSA) ile ortamdaki sıcak piksel yoğunluğunu ilişkilendiren dinamik bir 'Uyarlanabilir Eşikleme (Adaptive Thresholding)' algoritması geliştirilmiş ve düşme tespiti matematiksel bir temele oturtulmuştur.
3. Tespit edilen acil durumların düşük gecikme süresiyle MQTT protokolü üzerinden aktarıldığı, uç birim ile entegre çalışan ve çift yönlü iletişime izin veren (alarm iptali vb.) kullanıcı dostu bir mobil uyarı sistemi tasarlanmıştır.

İncelenen literatür çalışmaları ile bu çalışmada önerilen sistemin kapsamlı bir nitel ve nicel karşılaştırması Tablo 1'de sunulmuştur. Tablodan da görüleceği üzere önerilen sistem; mahremiyet koruması, mobil uygulama entegrasyonu ve uçta hesaplama yeteneklerini yüksek bir doğruluk oranıyla tek bir yapıda birleştirmesiyle öne çıkmaktadır.

Tablo 1. Önerilen sistemin literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

Referans	Kullanılan Sensör Türü	Tespit Yöntemi / Algoritma	Uyarı Mekanizması	Mahremiyet Seviyesi	Mobil/IoT Entegrasyonu	Hesaplama Yükü
Shilaskar vd. [4]	Optik Kamera (RGB)	Makine Öğrenmesi	Lokal Sistem	Düşük	Yok	Yüksek
Yu vd. [8]	Termal Dizi Sensör	Geri Çatma (Back Projection)	Yok / Sadece Tespit	Yüksek	Yok	Orta
Taramasco vd. [11]	Termal Sensör	İstatistiksel Analiz	Bakıcıya Bildirim	Yüksek	Kısmi (Web)	Düşük
Rezaei vd. [13]	Düşük Çöz. Termal	Konvolüsyonel Sinir Ağları	Çevrimdışı (Offline)	Yüksek	Yok	Çok Yüksek
Önerilen Sistem	MLX90640 Termal	Uyarlanabilir Eşikleme	Gerçek Zamanlı Alarm	Çok Yüksek	Var (MQTT + Flutter)	Düşük (Uçta Hesaplama)

2 Materyal ve metot

Çalışmanın dayandığı asıl yöntem düşme kazasında termal kamera yardımı ile kişinin ısı görüntüsünü gözlemleyerek bu görüntüde oluşan ani değişikliği tespit etmektir. Bu çalışmada öngörülen durum ise kişi banyo ortamında belirli işlemler yaparken ani bir düşme sonucunda kişinin vücudu yere düşecektir ve tavana takılan termal kamera bu kazayı tespit edecektir.

Çalışmanın yöntemi 3 farklı bölümden oluşmaktadır:

- 1- Dart programlama dili ile Mobil için Flutter uygulaması geliştirilmesi.
- 2- Raspberry Pi tabanlı uyarı sisteminin tasarlanması. (Sistemin Donanım ve İletişim Mimarisi)
- 3- Tespit sisteminin geliştirilmesi ve geliştirilen sistemin Raspberry Pi sistemine entegre edilerek çalışmanın son halinin ortaya çıkması.

2.1 Dart programlama dili ile Mobil için Flutter uygulaması geliştirilmesi

Tespit sisteminde kullanılabilmesi için Dart programlama dilinde mobil için Flutter uygulaması geliştirilip bu uygulamanın kaza tespitinde daha önceden ayarlanan bir numarayı arayıp bildirmesi amaçlanmaktadır. Telefon uygulamasının kullanıcı arayüzü Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Geliştirilen telefon uygulamasının öngörülen arayüzü

Kullanıcı, bu arayüz üzerinde çeşitli işlevleri yerine getirebilecektir. Bu işlevler arasında, kaza tespiti sırasında kullanılacak numarayı ayarlama, yanlış bir alarm durumunda alarmı iptal etme, tespit sistemini devre dışı bırakma, canlı görüntü yakalama yeteneği bulunmaktadır. Ayrıca, canlı görüntü aracılığıyla aşağıdaki düğmelere tıklayarak fotoğraf ve video çekme işlemlerini gerçekleştirme ve bu fotoğraf ve videolara erişme olanağı sunulmaktadır. Ek olarak, tespit sistemi ile Raspberry Pi sembolünün rengi soluk olup olmadığından tespit sistemi bağlantısının durumunu anlama imkânı da sağlanmaktadır.

Bu şekilde kullanıcı tespit sistemini kendi cebinden kontrol edebilecek ve banyodaki herhangi bir düşme kazasından anında haberi olacaktır.

2.2 Sistemin donanım ve iletişim mimarisi

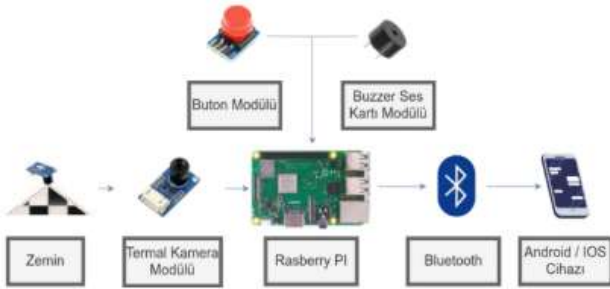
Raspberry Pi kullanılarak termal kamera, buton, buzzer ses modülü yardımıyla tespit sisteminin donanım kısmı üzerinde çalışılmıştır. Gerçekleştirilen sistem Şekil 2'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi Raspberry Pi sistemine belirli modüller takılmış ve bu modüller Raspberry Pi ile senkronize bir şekilde çalışıp banyo zemininde kaza tespiti, düşük gecikme süresi sağlayan MQTT protokolü aracılığıyla Android/iOS cihazına iletilmiştir.

Önerilen sistemin genel mimarisi, uçta hesaplama (edge computing) prensibiyle çalışan 'Düşme Tespit

Modülü (Donanım)' ve 'Mobil Uyarı Sistemi (Yazılım)' olmak üzere iki ana katmandan oluşmaktadır.

1) Düşme Tespit Modülü (Donanım ve Yerel İşlem): Bu katman, tavana monte edilmiş MLX90640 termal dizi sensörü ve bir Raspberry Pi ana kartından oluşmaktadır. Görüntü işleme ve piksel analizi, buluta hiçbir ham veri gönderilmeden tamamen Raspberry Pi üzerinde (Python ve OpenCV kullanılarak) yerel olarak gerçekleştirilir. Bu durum mahremiyetin korunmasını garanti altına alır.

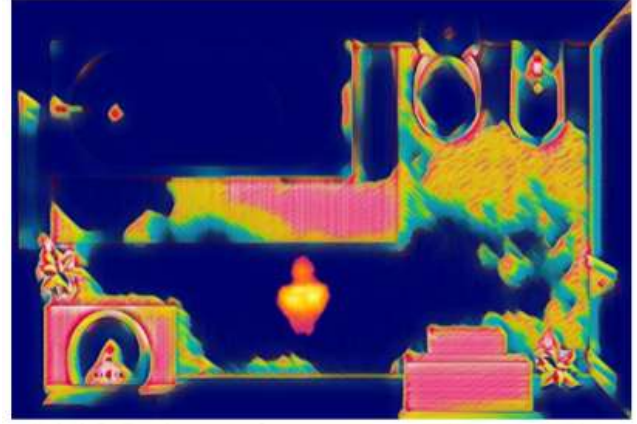
2) Mobil Uyarı Sistemi ve İletişim Mimarisi: Uç birimde çalışan algoritma bir düşme tespit ettiğinde, sistem sadece bir tetikleme sinyali (trigger) üretir. Bu sinyal, cihazlar arası asenkron ve düşük gecikmeli iletişimi sağlamak amacıyla MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokolü üzerinden Wi-Fi ağı kullanılarak Flutter tabanlı mobil uygulamaya iletilir. Makalenin önceki prototiplerinde kısa mesafe için düşünülen Bluetooth iletişimi, Wi-Fi tabanlı MQTT Broker mimarisi ile değiştirilerek sistemin tüm ev ağından (veya internet üzerinden) erişilebilir olması sağlanmıştır.



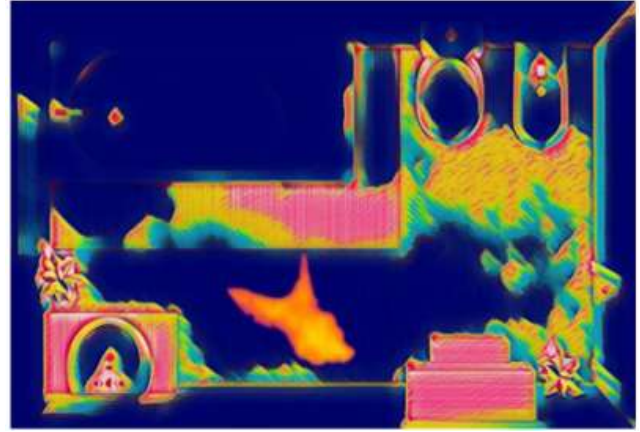
Şekil 2. Geliştirilen sistemin Raspberry Pi odaklı görünümü

Raspberry Pi modülü duvara yerleştirilip termal kamera modülü ise tavana yerleştirilmiştir. Bu termal kamera modülü Şekil 3 (ayakta) ve Şekil 4'de (düşme) örnek olarak görülebildiği şekilde banyo ortamında kişinin ısı haritasını dinamik olarak takip etmektedir. Bir düşme kazası tespiti olur ise Raspberry Pi sistemine bağlı olan buzzer ses kartı modülü çalışacak ve 10 saniye boyunca ses çıkarmaktadır. Bu 10 saniye boyunca eğer kullanıcı buton modülüne basarsa yada telefon uygulamasından alarm iptal sinyali gelir ise tespit 'Yanlış Tespit' olarak algılanır ve göz ardı edilir. Eğer kullanıcı buton modülüne basmaz ise kaza

tespiti 'Doğru Tespit' olarak kabul edilir ve telefon uygulamasına MQTT Broker (Aracı) üzerinden asenkron olarak bildirilir.



Şekil 3. Bir bireyin banyo ortamında ayakta iken üstten termal kamera ile çekimi



Şekil 4. Bir bireyin banyo ortamında düşme durumunda iken üstten termal kamera ile çekimi

Raspberry Pi üzerinde Python programlama dili kullanılmıştır. Python programlama dilinde tespit sistemi geliştirilirken adafruit_mlx90640 ve "pithermalcam" gibi açık kaynak kodlu kütüphaneleri kullanılarak yazılmış ve bu sayede termal kamera ile Raspberry Pi arasında iletişim ve veri işleme işlemleri programcı dostu bir biçimde sağlanmıştır.

Resim işleme sürecinde ise Python programlama dilinde OpenCV açık kaynak kodlu kütüphane kullanılmıştır. Bu OpenCV kütüphanesi ile pithermalcam kütüphanesi yardımıyla termal kameradan alınan resimdeki insanın boyutu insan vücudunun renk haritasındaki rengi kullanılarak sayısal olarak hesaplandı ve bu veriler kullanılarak tespit sisteminde düşme tespiti işleminde kullanılmıştır.

2.3 Uyarlanabilir eşikleme algoritması ve matematiksel model

Isı haritasının değerleri belirlenirken ortalama bir insanın vücut ısıları değerleri kullanılmıştır, bu sayede termal kameranın kişiyi tespit edebilecek bir ısı haritası elde edilmiştir.

Termal sensörler, kişinin vücut ısını kullanarak bireyi dinamik olarak takip etmektedir. Ancak vücut alanı tespiti sırasında herhangi bir parametre ayarlaması yapılmadığı takdirde, sensör tarafından algılanan her bir yoğun ısı bölgesindeki alan değişimi (örneğin insan adımları) bir kaza durumu olarak değerlendirilebilmektedir. Bu durum istenmeyen yanlış tespitlere yol açmaktadır.

Bu nedenle, tespit sisteminin insan vücuduna uygun parametreler ile ayarlanması büyük önem taşımaktadır. Reading ve Freeman [28], çalışmalarında bir insanın kilo (W) ve boy (H) değerleri kullanılarak vücut yüzey alanının (BSA) aşağıdaki denklem 1 ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir:

$$BSA = \left(\frac{1}{6}\right)(WH)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de yer alan **W** (Weight) bireyin kilogram (kg) cinsinden vücut ağırlığını, **H** (Height) ise santimetre (cm) cinsinden boy uzunluğunu ifade etmektedir.

Hesaplanan BSA değeri kullanılarak ortalama bir insanın vücut alanı tahmin edilmekte ve bu değer yaklaşık dörtte birine ulaşan termal alan büyüklüğü, sistem tarafından kaza durumu olarak değerlendirilmektedir.

Bu işlem anlık olmalıdır ve bir önceki durumda termal olarak tespit edilen bireyin alanı çok küçük iken çok kısa bir sürede düşme pozisyonuna geçilirse alarm tetiklenmektedir. Yoksa birey eğilme hareketi yaparken bile bu işlem kaza olarak nitelendirilebilir ve bu doğru bir tespit olmayacaktır.

Tespit sisteminde Şekil 5'de görülen formül ile termal sensörün görüş mesafesi değeri (D) hesaplanıp bu hesaplama ile görüş alanı değeri (GAD) bulunmaktadır. GAD değerine göre de BSA değerinden kesilecek değer dinamik olarak ayarlanmaktadır.

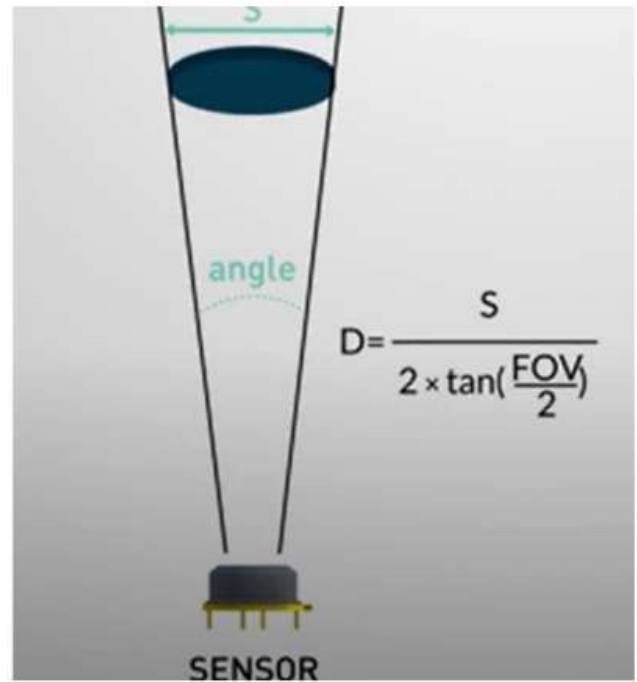
Sistemin karar mekanizması basit ve sabit bir eşik değerine dayanmamaktadır; bunun yerine ortamın termal dinamiklerine göre kendi kendini kalibre

eden "Uyarlanabilir Eşikleme (Adaptive Thresholding)" algoritması geliştirilmiştir.

Algoritmanın temel (base) kritik eşik değeri (Tbase), geometrik izdüşüm analizlerine göre %40 (toplam görüş alanının %40'ı) olarak belirlenmiştir. Çünkü ayakta duran bir bireyin kameradaki tepe izdüşümü yaklaşık %10-15 civarındayken, yatay pozisyonda düşmüş bir vücut alanı yaklaşık %40 seviyelerine ulaşmaktadır.

Ancak banyo gibi ıslak alanlarda ortam sıcaklığı (Tortam) duş kullanımı sonrasında artmakta ve insan vücut sıcaklığı (yaklaşık 36.5°C) ile zemin arasındaki termal kontrast azalmaktadır. Bu durumda oluşan termal gürültü, sabit bir %40 eşik değerinin kullanılmasını riskli hale getirebilir ve yanlış negatif sonuçlara (düşmenin algılanmaması) neden olabilir.

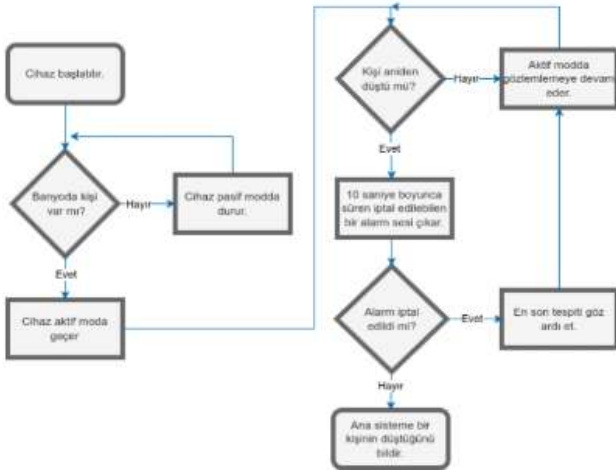
Bu sorunu çözmek amacıyla algoritma, termal kameradan elde edilen arka plan zemin sıcaklık ortalamasını sürekli olarak izlemektedir. Zemin sıcaklığı 30°C'nin üzerine çıktığında (buhar veya sıcak su etkisi), algoritma kritik eşik değerini (Tc) dinamik olarak yaklaşık %35 seviyesine kadar düşürerek sistemin hassasiyetini artırır. Tersine, zemin sıcaklığının düşük olduğu ve termal kontrastın yüksek olduğu durumlarda yanlış alarmları önlemek amacıyla eşik değeri yaklaşık %45 seviyesine kadar yükseltilebilmektedir.



Şekil 5. Termal sensörün görüş alanı

Bu verilerin büyük bir kısmı çalışma esnasında deney ortamında toplanmıştır. Bu yüzden bu açıklanan teorik yöntemin çalışmanın gerçekleştirildiği anda radikal olarak geliştirileceği bilinmelidir. Çünkü, her ne kadar teorik olarak bazı durumlar tahmin edilmeye çalışılsa bile deneysel çözümün daha doğru cevaplar vereceği hipotezi bu çalışma için daha uygun olacağı kararına varılmıştır.

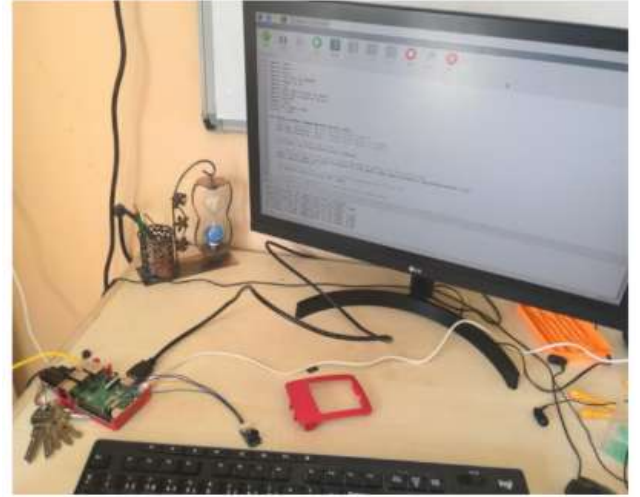
Bu sistemin geliştirilmesi sonucunda, elde edilen tespit sisteminin genel işleyişinin akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çalışmanın genel işleyiş diyagramı

3 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma için Şekil 7'de görülen ortam hazırlanıp gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve tespit sisteminin temeli oluşturulmuştur. Tasarlanan tespit sistemi termal kameranın vücut ısılarını alıp renk-haritasına etkili bir şekilde yerleştirebilmesinden yararlanılmıştır. Bu renk haritasında sıcak bölgeler sıcak renklerle bağdaştırılırken soğuk bölgeler ise soğuk renklerle bağdaştırılmıştır. Bu sayede sıcak renkleri toplam karelere bölerek ekranın yüzde kaçısı sıcak renklerle bulunabildiği verisine ulaşılmıştır. Bu sayede misal olarak ayakta olan bir insan resminin %10 veya %15'ini kapsarken düşen bir kişi %30 ile %40 seviyesinde kaplayacaktır. Bu durum gerçekleştiğinde ise düşme tespiti olacaktır. Bu sisteme dayalı düşme tespiti kodlanıp hazırlanmıştır.



Şekil 7. Raspberry Pi tabanlı test ortamı kurulumu

Önerilen sistemin performansını nicel olarak değerlendirmek amacıyla laboratuvar ortamında yapılandırılmış toplam 100 farklı test senaryosu gerçekleştirilmiştir. Testler iki ana sınıfa ayrılmıştır: 40 adet düşme eylemi (ileri, geri ve yana düşüşler) ve 60 adet normal eylem (ayakta durma, yürüme, yere eğilerek eşya alma ve yere havlu düşürme).

Geliştirilen sistem, karmaşık yapay zekâ (AI) modelleri yerine doğrudan uçuşa çalışan deterministik bir "Uyarlanabilir Eşikleme" yaklaşımı kullandığı için hafif ve hızlı çalışmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix) Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Karmaşıklık matrisi sonuçları

Gerçek Durum	Tahmin: Düşme	Tahmin: Normal
Düşme	32 (TP)	8 (FN)
Normal	18 (FP)	42 (TN)

Bu değerlere dayanarak sistemin performans metrikleri standart formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Bu veriler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Performans metrikleri

Performans Metriği	Hesaplama Formülü	Değer
Doğruluk (Accuracy)	$(TP + TN) / \text{Toplam Test}$	%74.0
Hassasiyet(Precision)	$TP / (TP + FP)$	%64.0
Duyarlılık (Recall)	$TP / (TP + FN)$	%80.0
F1-Skoru	$2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$	%71.1

Sonuçlar incelendiğinde sistemin düşmeleri yakalama konusundaki duyarlılığının (%80) başarılı bir seviyede olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sistem yalnızca piksel yoğunluğu ve termal ısı dağılımına dayalı eşikleme yaklaşımı kullandığından, kullanıcının uzun süre yere eğilmesi veya büyük bir nesnenin yere düşmesi gibi durumlar yanlış alarm üretebilmektedir. Bu durum Yanlış Pozitif (FP) sayısını artırarak hassasiyet (Precision) değerinin %64 seviyesinde kalmasına neden olmuştur. Genel doğruluk oranı %74 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 8'te ise tespit sisteminin son hali verilmiştir. Flutter uygulaması açıldığı zaman Raspberry-pi sistemine MQTT ile 'hello' mesajı atmaktadır. Bu mesaja karşılık verildiğinde "Tespit sistemine bağlanıldı" yazısı çıkmaktadır.

Geliştirilen düşme tespit algoritmasının çalışma prensibi Şekil 9'daki akış diyagramında özetlenmiştir. Sistem, termal kameradan aldığı ham veriyi işleyerek öncelikle bir sıcaklık maskesi oluşturmaktadır. Algoritma, belirlenen eşik değerleri (30°C-40°C) arasındaki pikselleri filtreler ve bu piksellerin toplam görüntü alanına oranını hesaplar. Eğer hesaplanan sıcak bölge yoğunluğu belirlenen kritik eşik değerini (%40) aşarsa, sistem bunu bir düşme eylemi olarak sınıflandırır ve MQTT protokolü üzerinden alarm sürecini tetikler.

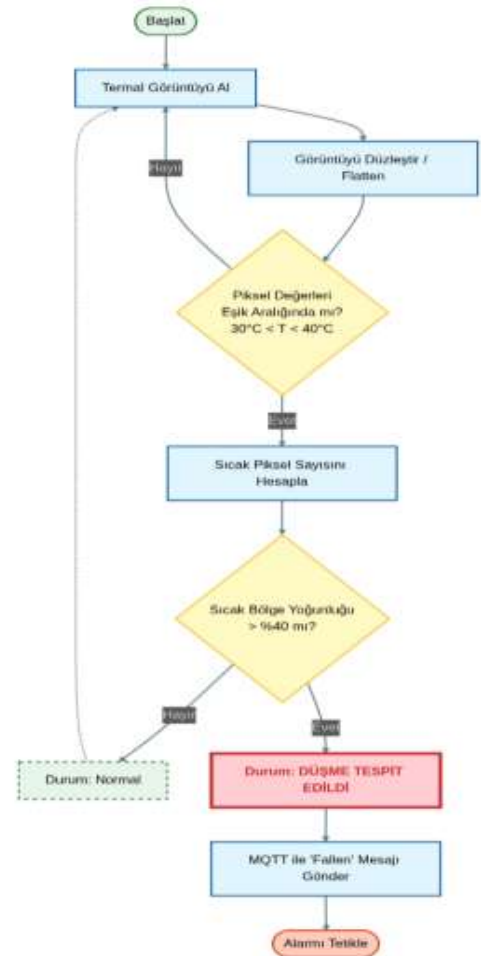


Şekil 8. Mobil uygulama ana ekranı

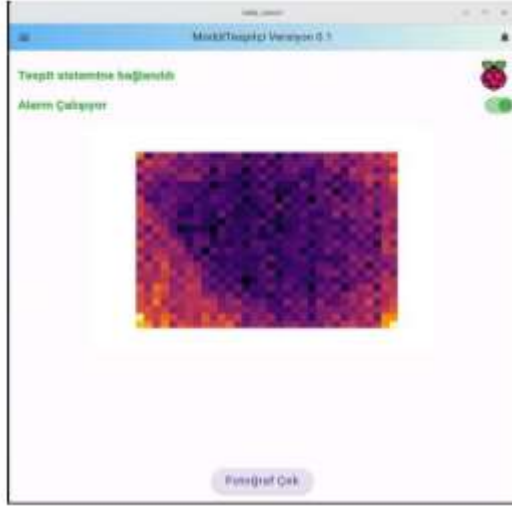
Şekil 10'da görüldüğü gibi Flutter uygulamasına ayrıca Fotoğraf çekme işlevi üzerinde çalışılmıştır. Kullanıcı 'Fotoğraf Çek' butonuna tıkladığında

karşılığında Raspberry-Pi tabanlı sistemden alınan resim gelmektedir. Bu işlev için MQTT ile 'foto' mesajı paylaşılmaktadır. Ardından bu mesajı alan sistem fotoğrafı base64 formatında geri bir mesaj olarak göndermektedir. Geri getirilen bu mesaj ise tekrar binary formatına dönüştürülüp kullanıcıya sunulmaktadır.

Sistem ile mobil uygulama arasındaki veri iletişimi ve komut hiyerarşisi Şekil 11'de sunulan sıralama diyagramında gösterilmiştir. Kullanıcı, mobil arayüz üzerinden sistemi uzaktan kontrol edebilmekte; ackapa komutu ile tespit modülünü aktif veya pasif duruma getirebilmektedir. Raspberry Pi tabanlı uç birim, bu komutları anlık olarak işleyerek durum güncellemesi yapar. Düşme tespit algoritması pozitif sonuç ürettiğinde (kritik eşik aşıldığında), sistem otomatik olarak 'fallen' (düştü) uyarısını oluşturur ve mili-saniye mertebesinde gecikme ile mobil uygulamaya görsel ve sesli alarm olarak iletir. Yapılan testlerde, komut iletimi ve alarm tepki süresinin gerçek zamanlı müdahale için yeterli hızda olduğu doğrulanmıştır.



Şekil 9. Önerilen düşme tespiti algoritmasının akış diyagramı



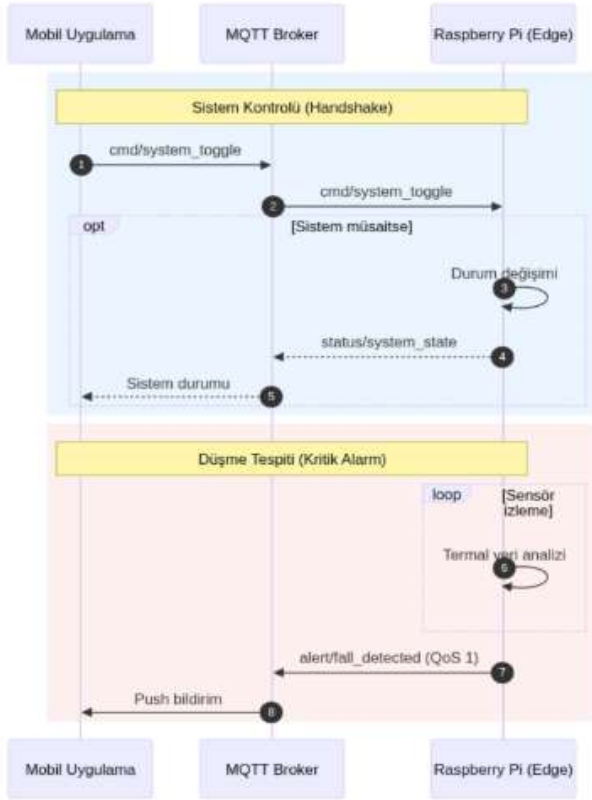
Şekil 10. Mobil uygulamada anlık görüntü vakalama

Kullanıcı aynı zamanda Şekil 12’de görülebildiği gibi tespit sistemini kapatabilmektedir. Bu tuşu değiştirmek için tıklayarak kullanıcı Flutter uygulamasının sisteme ackapa mesajı göndermesini sağlamaktadır. Bu sayede tespit sistemi kapatılmıştır.

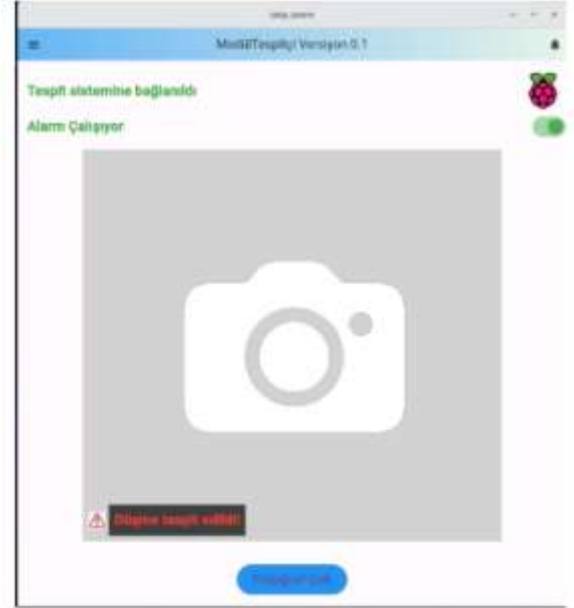


Şekil 12. Mobilden alarmin uzaktan kapatılması

Fallen mesajını alan flutter uygulaması Şekil 13’de görüldüğü gibi kullanıcıyı uarmaktadır. Bu sayede kullanıcı düşme tespiti olduğunda haberi olacaktır.

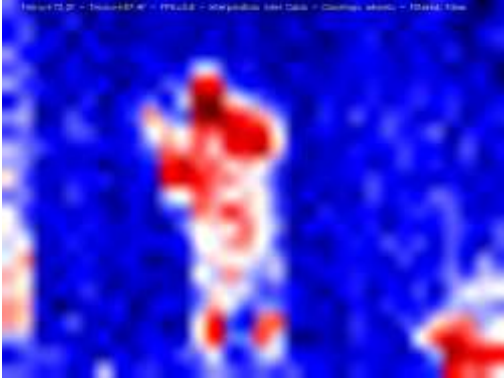


Şekil 11. Mobil uygulama ve uç birim (Raspberry Pi) arasındaki MQTT haberleşme hiyerarşisi.

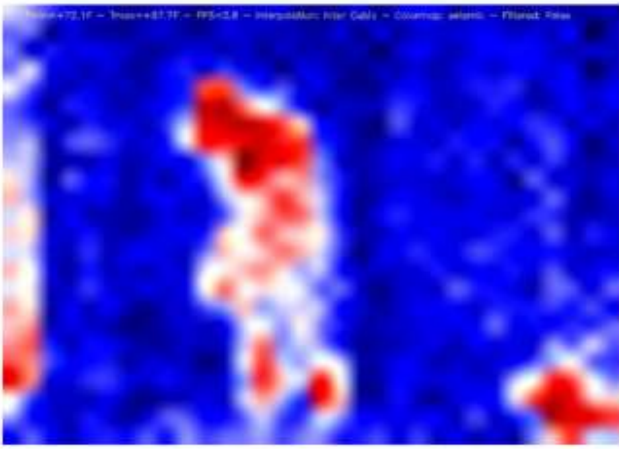


Şekil 13. Düşme tespitinde mobile gelen alarm

Termal kamera üzerinden yapılan düşme tespiti denemeleri ise Şekil 14 ve Şekil 15’de açıkça görülebilmektedir. Bu termal fotoğraflarda kişilerin düşme konumunda olduğu bellidir ve tespit edilmeleri mümkündür.



Şekil 14. Uygulamada termal kameradan düşme tespiti



Şekil 15. Uygulamada başka bir düşme tespiti çıktısı

4 Sonuçlar

Ev kazalarının en sık yaşandığı ve müdahalenin gecikebildiği banyo ortamları için, görüntü işleme teknikleri ve IoT mimarisini birleştiren, mahremiyet odaklı bir düşme tespit sistemi geliştirilmiştir. Geleneksel RGB kameraların aksine, önerilen termal görüntüleme tabanlı yaklaşım, düşük ışık koşullarında ve buharın yoğun olduğu ortamlarda dahi insan silüetini başarıyla ayırt ederek kişisel mahremiyeti ihlal etmeden sürekli izleme imkânı sunmaktadır.

Geliştirilen sistem, Raspberry Pi tabanlı uç birim üzerinde çalışarak, düşme anında oluşan ani ısı haritası değişimlerini ve vücut yüzey alanı (BSA) anomalilerini analiz etmektedir. Deneysel sonuçlar, sistemin ayakta durma, eğilme ve düşme eylemlerini, belirlenen ısı yoğunluğu eşik değerleri üzerinden ayırt edebildiğini göstermiştir. Özellikle düşme anında vücudun zeminle temas yüzeyinin artmasıyla tetiklenen %40 ve üzeri piksel yoğunluk değişimlerinin, düşme tespiti için ayırt edici bir öznelik olduğu doğrulanmıştır. Entegre edilen

mobil uygulama ve MQTT protokolü sayesinde, tespit edilen acil durumlar mili-saniye mertebesinde gecikme ile bakıcı veya ilgili birimlere iletilerek, olası yaralanmalarda en kısa süre içinde müdahale şansı artırılmıştır.

Ayrıca, banyo gibi yüksek riskli ancak izlenmesi etik kısıtlamalara tabi olan alanlar için, düşük maliyetli donanımlar ve optimize edilmiş algoritmalarla uçtan uca çalışan güvenilir bir çözüm sunulmaktadır.

4.1 Gelecek çalışmalar ve öneriler

Gelecek çalışmalarda, sistemin tespit doğruluğunu artırmak ve yanlış alarmları (örneğin yere havlu düşmesi veya oturma eylemi) minimize etmek amacıyla, mevcut eşik tabanlı algoritmanın yerine Hafif Siklet Konvolüsyonel Sinir Ağları veya LSTM tabanlı derin öğrenme modellerinin entegre edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, birden fazla termal sensörün füzyonu ile oklüzyon problemlerinin giderilmesi ve sistemin enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Yazar Katkıları

Yazar 1: Yazım, Kavramlaştırma, Metodoloji, Veri Analizi.

Yazar 2: Yazım, Metodoloji, Veri Analizi.

Yazar 3: Veri Temini, Denetim, Yazım – İnceleme ve Düzenleme.

Çıkar Çatışmaları

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışması beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynaklar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu, "Sağlık Harcamaları İstatistikleri, 2021," TÜİK Kurumsal, Ankara, Türkiye, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sağlık-Harcamaları-Istatistikleri-2021-45728>
- [2] Z. Haytoğlu, "Ev kazaları ve korunma," Çukurova Medical Journal, c. 46, s. 1-3, 2021.
- [3] A. Sarohan, Acil servise ev kazası ile gelen hastalarda dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu ilişkisinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Türkiye, 2017.
- [4] S. Shilaskar, S. Bhatlawande, R. Chavare, R. Joshi ve S. Jaiswal, "Vision based fall detection with BRISK feature descriptor," 2023 Second International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies (ICEEICT), ss. 1-7, 2023.
- [5] G. Cao, J. Yang ve M. Chen, "Fusion system design of multi-sensors and visual algorithm for elderly fall

- detection," 2023 IEEE 6th Eurasian Conference on Educational Innovation (ECEI), ss. 146–148, 2023.
- [6] B. Wang ve Y. Guo, "Soft fall detection using frequency modulated continuous wave radar and regional power burst curve," 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), ss. 240–242, 2022.
- [7] F. A. Elshwemy, R. Elbasiony ve M. T. Saidahmed, "A new approach for thermal vision based fall detection using residual autoencoder," International Journal of Intelligent Engineering & Systems, c. 13, s. 2, 2020.
- [8] L. Yu, H. Chen, H. He, H. Nie, X. Zhai ve B. Xiong, "A fall detection system based on a thermopile imaging array and a back projection algorithm," 2020 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), ss. 60–65, 2020.
- [9] P. Lynggaard, "A fall-detection system that uses body area network and thermal energy harvesting technologies," 2018 11th CMI International Conference, ss. 67–73, 2018.
- [10] Y. Taniguchi, H. Nakajima, N. Tsuchiya, J. Tanaka, F. Aita ve Y. Hata, "A falling detection system with plural thermal array sensors," 2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), ss. 673–678, 2014.
- [11] C. Taramasco vd., "A novel monitoring system for fall detection in older people," IEEE Access, c. 6, ss. 43563–43574, 2018.
- [12] F. Riquelme, C. Espinoza, T. Rodenas, J. G. Minonzio ve C. Taramasco, "eHomeSeniors dataset: An infrared thermal sensor dataset for automatic fall detection research," Sensors, c. 19, s. 20, 4565, 2019.
- [13] A. M. Rezaei vd., "An unobtrusive fall detection system using low resolution thermal sensors and convolutional neural networks," 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), ss. 6949–6952, 2021.
- [14] E. Vermeulen, Automatic Incident Detection (AID) with Thermal Cameras, 2014.
- [15] A. R. Putri vd., "Compressed neural network for thermal array-based fall detection system on embedded AI," 2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), ss. 1754–1757, 2021.
- [16] J. Adolf, M. Macas, L. Lhotska ve J. Dolezal, "Deep neural network based body posture recognitions and fall detection from low resolution infrared array sensor," 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), ss. 2394–2399, 2018.
- [17] X. Luo, T. Liu, J. Liu, X. Guo ve G. Wang, "Design and implementation of a distributed fall detection system based on wireless sensor networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, ss. 1–13, 2012.
- [18] J. Nogas, S. S. Khan ve A. Mihailidis, "Fall detection from thermal camera using convolutional LSTM autoencoder," IJCAI Workshop on Aging, Rehabilitation and Independent Assisted Living, 2018.
- [19] S. Kido, T. Miyasaka, T. Tanaka, T. Shimizu ve T. Saga, "Fall detection in toilet rooms using thermal imaging sensors," 2009 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), ss. 83–88, 2009.
- [20] V. Mehta, A. Dhall, S. Pal ve S. S. Khan, "Motion and region aware adversarial learning for fall detection with thermal imaging," 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), ss. 6321–6328, 2021.
- [21] S. Denkovski vd., "Multi visual modality fall detection dataset," IEEE Access, c. 10, ss. 106422–106435, 2022.
- [22] C. Zhong vd., "Multi-occupancy fall detection using non-invasive thermal vision sensor," IEEE Sensors Journal, c. 21, s. 4, ss. 5377–5388, 2020.
- [23] A. Hayashida, V. Moshnyaga ve K. Hashimoto, "New approach for indoor fall detection by infrared thermal array sensor," 2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), ss. 1410–1413, 2017.
- [24] A. Naser, A. Lotfi, M. D. Mwanje ve J. Zhong, "Privacy-preserving, thermal vision with human in the loop fall detection alert system," IEEE Transactions on Human-Machine Systems, c. 53, s. 1, ss. 164–175, 2022.
- [25] N. Bharathiraja vd., "Real-time fall detection using ESP32 and AMG8833 thermal sensor: A non-wearable approach for enhanced safety," 2023 Second International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), ss. 1732–1736, 2023.
- [26] A. Hayashida, V. Moshnyaga ve K. Hashimoto, "The use of thermal IR array sensor for indoor fall detection," 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), ss. 594–599, 2017.
- [27] J. Rafferty vd., "Thermal vision based fall detection via logical and data driven processes," 2019 IEEE International Conference on Big Data, Cloud Computing, Data Science & Engineering (BCD), ss. 35–40, 2019.
- [28] B. D. Reading ve B. Freeman, "Simple formula for the surface area of the body and a simple model for anthropometry," Clinical Anatomy, c. 18, s. 2, ss. 126–130, 2005.



© Author(s) 2026. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>