

Fall Detection Systems Supported by TinyML and Accelerometer Sensors: An Approach for Ensuring the Safety and Quality of Life of the Elderly

Yeliz Durgun ¹

Tokat Gaziosmanpasa University, Turhal Vocational School, Tokat, TURKEY
ORCID ID: 0000-0003-3834-5533

Abstract

Many elderly individuals live alone in their homes, which can lead to significant health and safety concerns due to the risk of falls. Falls not only cause physical injuries but also have social, psychological, and economic impacts that negatively affect the quality of life for older adults. In this context, early detection of falls and implementation of preventive measures are of great importance. Edge computing-based fall detection systems have been developed to effectively address the safety of older adults in such situations. In the present study, a fall detection system is proposed that utilizes edge computing and TinyML technologies, operating on an embedded platform. This system is designed for the interpretation of accelerometer sensor data and processes the data collected through sensors to obtain valuable information. The Edge Impulse platform is used for training an extensive dataset consisting of various fall examples for older adults, allowing the proposed system to achieve a 98.5% recognition accuracy. This cost-effective and user-friendly novel approach combines a portable accelerometer sensor and artificial intelligence software to target early detection and prevention of falls in older adults. This study contributes significantly to the field of edge computing and provides effective solutions to enhance the quality of life for elderly individuals.

Keywords: “Micro learning, edge computing, cloud computing, elderly fall detection.”

1. Giriş

Yaşlı bireylerde düşme riski yaş ilerledikçe artmaktadır [1]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, 65 yaş ve üzeri kişilerin yaklaşık %28-35'i her yıl düşmektedir. Bu oran 70 yaş ve üzeri kişilerde %32-42'lere kadar yükselmektedir [2]. Bu artış, Yaşlı bireylerde düşme riskinin artması, vücutlarının kırılabilirlik düzeyinin yükselmesi ile ilişkilidir. Kırılabilirlik, yaşlı bireylerde çeşitli nedenlerden dolayı oluşan kemik ve kas zayıflığına bağlıdır [3]. Düşmeler, yaşlandıkça sıklıkla artmaktadır ve bu durum, yaşa bağlı biyolojik değişiklikler nedeniyle gerçekleşmektedir [4]. Özellikle yaşlı nüfusun artması nedeniyle, düşme olaylarının sıklığı ve düşmeye bağlı yaralanmaların sayısı da artmaktadır. Bu durum, 2030 yıllarına kadar düşmelerden kaynaklanan yaralanmaların %100 oranında artabileceği düşünülmektedir [5]. Bu nedenle, düşmelerin azaltılması veya hafifletilmesi için yardımcı cihazların oluşturulması, toplumsal bir zorunluluk haline gelmiştir. Çünkü düşmeler, büyük bir sağlık sorunu haline gelmiştir. Dolayısıyla, yeni yöntemler, araştırmalar ve düşme dedektörleri aktif olarak araştırılmaya başlanmıştır [6-7].

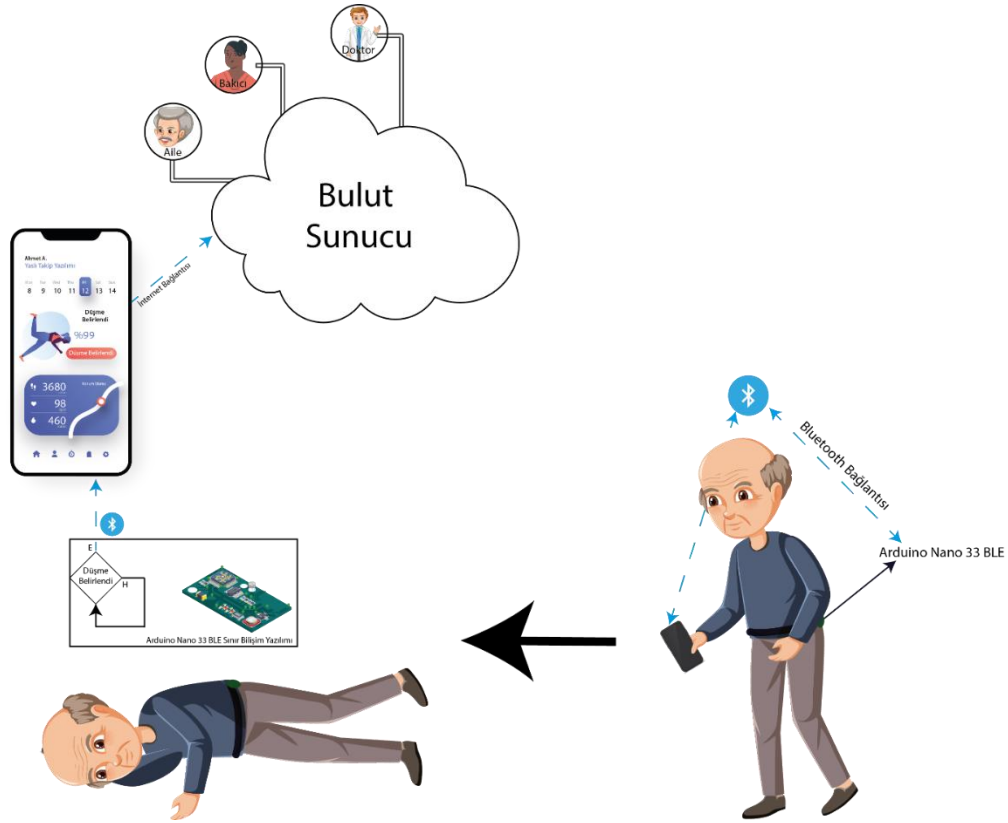
Bu çalışmalar sayesinde, yaşlıların düşmelerden korunması ve yaralanmaların azaltılması için daha etkili çözümler araştırılmaktadır. Yaşlılar için düşme bildiriminde kullanılan teknolojik yöntemler hala araştırılmaktadır. Sınır bilişim bu teknolojiler arasında yer almaktadır. Sınır bilişim, yaşlılar için düşme riskini azaltmak amacıyla birçok çalışma yürütmektedir. Örneğin, kullanıcının hareketlerini ve pozisyonunu izleyen sensörler kullanarak düşme riskini takip edebilmektedir [8-9]. Bu sensörler, kişinin yürüyüşünü ve dengesini analiz etmek için kullanılabilir ve düşme riski taşıdığı tespit edilirse, uyarılar gönderilebilmektedir [10]. Ayrıca, sınır bilişim aynı zamanda yapay zeka ve derin öğrenme teknolojilerini kullanarak düşme tahmini yapabilmektedir [11].

Örneğin, kameralar veya hareket sensörleri tarafından toplanan veriler kullanılarak bir kişinin düşme riski için bir model oluşturulabilmektedir [12]. Bu model, kişinin hareketleri ve pozisyonunu inceleyerek düşme riskini tahmin edebilir ve gerektiğinde uyarılar gönderebilir. Bu çalışma, Edge Impulse aracı, sınır bilişim alanında düşme tespiti ve tahmini için kullanılan bir araçtır. Bu araç, sensörler ve kameralar tarafından toplanan verileri kullanarak, yaşlı bireylerin düşme riskini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır [13]. Edge Impulse, özellikle evde ve diğer yaşam alanlarında düşme riskini azaltmak için kullanılabilir. Ayrıca, bu teknoloji, yaşlıların yaşam kalitesini artırmak ve bağımsızlıklarını korumak için önemli bir katkı sağlamaktadır. Düşme tahmin ve tespit sistemleri, yaşlı bireylerin düşme riskini azaltmak ve hızlı müdahale imkanı sağlamak açısından büyük

¹ Corresponding Author
E-mail Address: yeliz.durgun@gop.edu.tr

öneme sahiptir. Bu sistemler, yaşlı bireylerin daha güvenli bir yaşam sürdürmelerine yardımcı olarak, yaralanma ve kırık riskini düşürür. Aynı zamanda, yaşlıların bağımsız yaşamlarını destekleyerek yaşam kalitelerini artırmaktadır.

Sonuç olarak, yaşlılar için düşme riskini azaltmak ve yaşam kalitelerini artırmak amacıyla sınır bilişim, yapay zeka ve derin öğrenme teknolojileri kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu teknolojiler, düşme tespiti ve tahmini için kullanılan Edge Impulse gibi araçlarla yaşlı bireylerin hareketlerini ve pozisyonlarını izleyerek, düşme riskini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Bu sayede, yaşlıların daha güvenli ve bağımsız bir yaşam sürdürebilmeleri için önemli katkılar sağlanmaktadır.



Şekil 1. Düşme Algılama Sistemi.

2. Veri Seti

Bu çalışmada, mevcut açık kaynak veri kümelerini referans olarak, yaşlı bireylerin bağımsız yaşamlarını desteklemeye yönelik daha kapsamlı ve güvenilir bir veri kümesi oluşturmayı amaçladık. MobiFall [16], tFall [17], DLR [18] ve Proje Yerçekimi [19] gibi mevcut veri kümelerinin yaşlı bireyleri içermemesi ve sınırlı aktivite çeşitliliği ve katılımcı sayısı sunması, bu çalışmanın önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Denemelerimiz sırasında, önceki çalışmaların önerilerine dayanarak, kemer üzerine sabitlediğimiz bir mikrodenetleyici kullanarak veri toplama yöntemini benimsedik. Bu yöntem, giyilebilir cihazların daha doğal ve günlük yaşam aktivitelerine uyumlu bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, deneylerimizde elde ettiğimiz veriler, gerçek yaşam koşullarına daha yakın bir şekilde düşmeleri ve günlük yaşam aktivitelerini yansıtmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, daha geniş bir yaş aralığı ve daha fazla katılımcıyı içeren, hem düşme hem de ADL verilerini kapsayan bir veri kümesi elde edilmesi başarılabilirdi. Bu veri kümesi, akıllı telefonlarla sınırlı kalmadan, giyilebilir cihazlarla yapılan düşme ve ADL analizlerine önemli bir katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmanın, yaşlı bireylerin bağımsız yaşamlarını desteklemeye yönelik düşme ve ADL tespiti alanındaki bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Yöntem

Mevcut teknolojik alanın temel unsuru haline gelen makine öğrenimi (ML) sınır bilişimle birleşerek bir çok yeni teknolojik çözüme ışık tutmaktadır. Sınır bilişimi ile birlikte makine öğrenmesinin bir arada kullanılması aşağıdaki faydaları sunabilir:

Gerçek zamanlı veri analizi: Sınır bilişimi gerçek zamanlı veri işleme ve analizini mümkün kılar, sonuçlarına dayanarak hemen aksiyon alınmasına olanak tanır.

Artan doğruluk: Makine öğrenme algoritmaları büyük miktarda veriyi analiz ederek kaynak kısıtlı sınır aygıtlarında bile yüksek doğrulukla tahmin yapabilmektedir.

Artan verimlilik: Sınır bilişimi merkezi sunuculara büyük veri miktarlarının aktarılmasına gerek kalmadığından, gecikmeleri azaltır ve sistem verimliliğini artırmaktadır.

Mali tasarruf: Merkezi veri işleme ve depolama maliyetleri ile verilerin aktarılması için gerekli bant genişliği miktarını azaltmaktadır.

Artan güvenlik: Sınır bilişimi hassas verileri sınır aygıtlarında tutarak veri sızıntıları riskini azaltır.

Artan ölçeklenebilirlik: Sınır bilişimi sistem talebine göre ölçeklenebilir, veri işleme ihtiyaçlarındaki değişikliklere uyum sağlamayı mümkün kılmaktadır.

Daha iyi kullanıcı deneyimi: Gerçek zamanlı veri analizi yaparak tahmin yapmak üzere makine öğrenme algoritmalarını kullanarak, kullanıcılara daha kişiselleştirilmiş ve sürekli bir deneyim sunmak mümkündür.

Projenin ana bileşenleri, Arduino Nano 33 BLE ve dahili LSM9DS1 modülüdür. Arduino Nano 33 BLE, küçük, güçlü ve düşük güçlü bir mikrodenetleyici karttır, LSM9DS1 modülü ise 3 eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetometre içeren 9 eksenli hareket takip cihazıdır. Bu bileşenler birlikte, kaynak sınırlı uç cihazlarda bile makine öğrenme algoritmaları tarafından yapılan tahminlerin doğruluğunu artırarak, gerçek zamanlı veri analizi sağlamaktadır.

3.1. Arduino Nano 33 BLE:

Arduino Nano 33 BLE, Bluetooth Low Energy (BLE) özelliklerine sahip bir mikrodenetleyici platformdur. Bu platform, yaşlılar için düşme tespit sistemi oluşturmak için kullanılabilir. Arduino Nano 33 BLE, ev içinde yerleştirilmiş sensörler aracılığıyla yaşlının hareketlerini izleyebilmektedir. Örneğin, bir hareket sensörü ya da bir gyroskop, yaşlının pozisyonunu ve hareketlerini takip edebilmektedir. Bu sensörler, Arduino Nano 33 BLE'ye bağlanabilir ve verileri toplanabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE, toplanan verileri işleyerek düşme olayını tespit edebilmektedir. Örneğin, hareket sensöründen toplanan veriler aracılığıyla yaşlının pozisyonunun ve hareketlerinin analiz edilmesi, düşme olasılığının tespit edilmesine yardımcı olabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE ayrıca, düşme olayını tespit ettiğinde bir uyarı verebilmektedir. Örneğin, bir sesli uyarı veya bir mobil cihaza mesaj gönderebilmektedir. Ayrıca, düşme olayını tespit ettiğinde çağrı merkezine veya acil servislere otomatik olarak bağlanabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE, maliyeti düşük ve kolayca kullanılabilen bir platformdur. Ancak, düşme tespit sisteminin etkili bir şekilde çalışması için doğru sensörlerin seçilmesi ve doğru veri işleme algoritmalarının kullanılması gerekir. Ayrıca, sistemin güvenliği ve gizliliği için gerekli önlemler alınması gerekir.



Şekil 2. Düşme ve Yürüme Durumlarına ait Sensör Verileri.

3.2. Yapay Sinir Ağı Modeli:

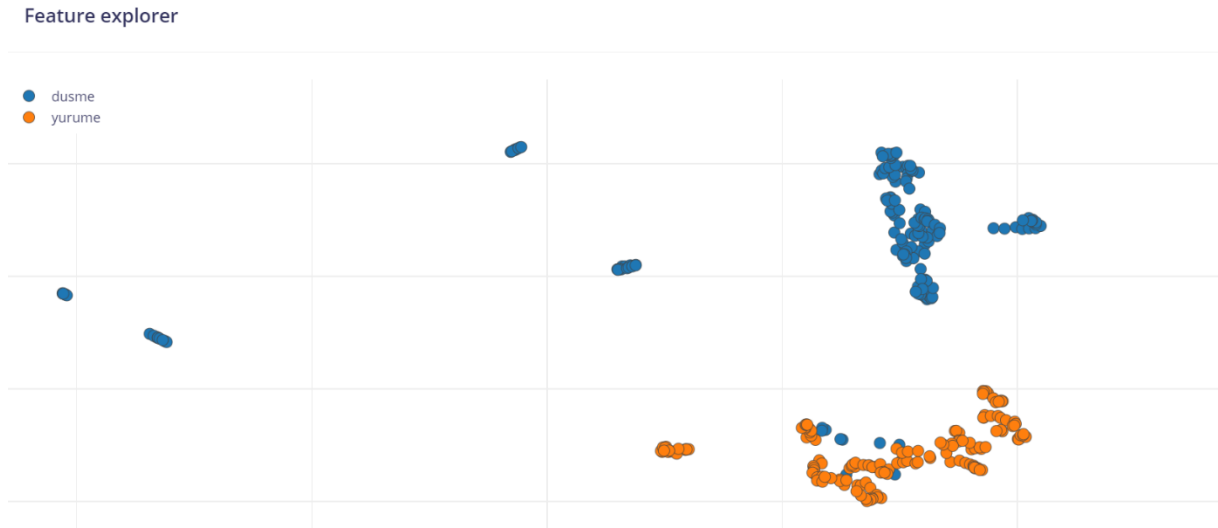
Bu çalışmada, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemini geliştirmek amacıyla, derin öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişini taklit etmeye çalışan ve genellikle sınıflandırma, regresyon ve örüntü tanıma gibi problemleri çözmek için kullanılan yapılardır.

Kullanılan YSA modeli, katmanlar ve nöronlar arasındaki bağlantıları temsil eden ağırlıklar ve biaslar ile karakterize edilmiştir. Bu çalışmada, bir giriş katmanı, birden fazla gizli katman ve bir çıkış katmanı içeren çok katmanlı bir yapı tercih edilmiştir. Giriş katmanı, sensörlerden elde edilen verileri işlemeye başlamak için kullanılırken, gizli katmanlar, daha karmaşık özellikleri öğrenmek ve çıktıya katkıda bulunmak için kullanılmaktadır. Çıkış katmanı ise, düşme durumunu tahmin etmek için kullanılmaktadır.

Modelin eğitimi, geri yayılım algoritması kullanılarak yapılmıştır. Geri yayılım algoritması, modelin ağırlıklarını ve biaslarını hedef değerlere ulaşmak için iteratif olarak güncelleyen bir süpervize öğrenme yöntemidir. Model eğitimi sırasında, veri kümesi eğitim ve test olarak iki bölüme ayrılmıştır. Eğitim veri kümesi, modelin ağırlıklarını ve biaslarını öğrenmesi için kullanılırken, test veri kümesi ise modelin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

YSA modelinin başarısını ölçmek için, performans metrikleri olarak doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity) ve özgünlük (specificity) değerleri kullanılmıştır. Bu metrikler, modelin düşme ve düşme olmayan durumları doğru bir şekilde sınıflandırma yeteneğini değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Özetle, bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemini geliştirmek amacıyla, derin öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağı modelini kullanmıştır. Bu model, sensör verilerini kullanarak düşme durumunu tahmin etmek ve yaşlıların güvenliği ve yaşam kalitesini artırmak için etkili bir yöntem sunmaktadır.



Şekil 3. Matematiksel Sensörlere ait Öznitelik Grafiği

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı (YSA) modeli, sensör verilerinden düşme ve yürüme olaylarını tespit etmek için özellik çıkarımı ve sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Modelin özellik keşfi süreci ve performansını gösteren Feature explorer grafiği, Şekil 3'te sunulmaktadır. Bu grafikte, düşme ve yürüme olaylarına ait özelliklerin nasıl ayrıştırıldığı ve sınıflandırıldığı açıkça görülmektedir.

3.3. TinyML ile Düşme Tespiti:

Bu çalışmada, yaşlılar için düşme tespitinde TinyML[20] kullanarak sensör verilerini işleyen bir yöntem geliştirilmiştir. İşlem adımları şu şekildedir:

Sensör Verisi Toplama: Mobil cihazın içerisine yerleştirilen bir ivmeölçer sensörü, kullanıcıların hareketlerini ve pozisyonunu sürekli olarak ölçmektedir. Bu sayede, yaşlı bireylerin evlerinde veya yaşadıkları ortamlarda bulunan sensörler, hareket ve pozisyon bilgilerini toplamaktadır.

Veri İşleme: Toplanan sensör verileri, TinyML algoritması tarafından işlenir. Bu algoritma, düşme olasılığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Verilerin işlenmesi, daha düşük enerji tüketimi ve hızlı işlem süreleri sağlamaktadır.

Alarm Oluşturma: Eğer düşme olasılığı belirli bir eşik değerini aşarsa, cihaz bir alarm oluşturur. Bu alarm, kullanıcıya hareket etmelerini veya tehlikeli bir durumdan kaçınmalarını önlemektedir.

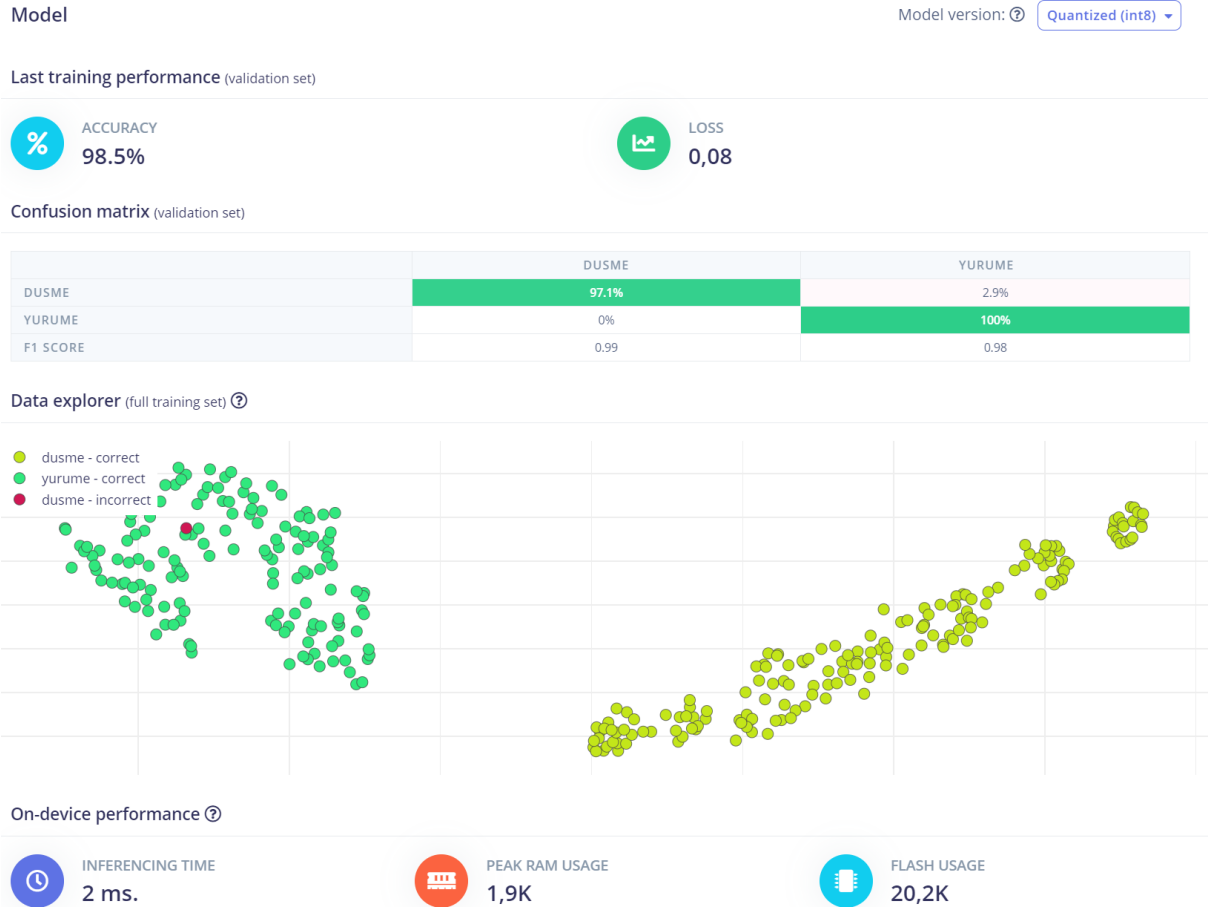
Sonuçları Raporlama: Kullanıcı, düşme tehlikesi olduğu anda uyarı alır ve bu durum cihaz tarafından kaydedilir. Düşme olasılığı ve alarm durumları, ileri analizler ve iyileştirme önerileri için raporlanmaktadır.

Bu yöntemle, TinyML kullanarak düşme tespiti yapılmakta ve yaşlı bireylerin güvenliği ve yaşam kalitesi artırılmaktadır. Özellikle enerji tüketimi ve işlem sürelerinde avantaj sağlayan bu yöntem, IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin etkinliğini ve kullanılabilirliğini artırmaktadır.

4. Bulgular

Düşme algılama sistemleri, zamanında tıbbi destek sayesinde ölüm oranlarında %80'e varan azalma sağlamıştır [21]. Bu nedenle, akıllı evler ve bakım merkezleri için yaşlı merkezli IoT tabanlı düşme algılama sistemi önemlidir. Sistem, kenar, sis ve bulut IoT katmanları aracılığıyla çalışmaktadır. Kenar katmanı, sensörler ve mikrodenetleyiciler aracılığıyla düşme olayını algılar ve verileri toplanmaktadır. Sis katmanı ise, verilerin işlenmesi ve analizi için kullanılmaktadır. Örneğin, TinyML algoritmaları kullanarak düşme olasılığının tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bulut katmanı ise, verilerin depolanması ve paylaşılması için kullanılmaktadır. Ayrıca, uyarılar ve acil çağrılar yapılması için kullanılmaktadır. MSE, "Mean Squared Error" yani "Ortalama Kare Hatası"dır. MSE, bir modelin gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkları ölçer ve bu farkları kareleri alarak ortalamasını alınmasını sağlamaktadır. MSE, bir regresyon modelinin performansını ölçmek için sıkça kullanılan bir metriktir ve düşük olması istenilmektedir. Çünkü bu, modelin daha doğru tahminler yaptığı anlamına gelmektedir.

Mevcut çalışmaların çoğu, düşme tespiti ve günlük yaşam aktivitelerinin sınıflandırılmasında sınırlı başarıya ulaşmıştır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, geliştirilen modelin yüksek doğruluk oranı ve düşük MSE ile etkili bir şekilde düşmeleri tespit etmesi ve yaşlılar için güvenli ve hızlı müdahalelerin sağlanmasıdır. Şekil 4, uçta TinyModel'i barındıracak aygıtın teknik özelliklerini göstermektedir. Model test sonuçları, %98,5'lik iyi bir model performansı ve 0,08 'lik MSE göstermektedir.



Şekil 4. Denemelere ait Model Değerlendirmeleri

Bu çalışma, yaşlılar için düşme olaylarının zamanında algılanmasını ve iletilmesini sağlar, böylece acil tıbbi destek alınabildiği için hayat kurtarıcı olabilir. Aynı zamanda, sistem maliyeti düşük ve kolayca kullanılabilen bir yapıdadır. Şekil 4'teki sonuçlar, ekipmanımızdan alınan performans verilerinin çoğunun, ham verilerden elde edilen gerçek sınıfına girdiğini göstermektedir. Sınır Bilişimi ve TinyML teknolojileri kullanılarak yaşlılar için düşme tespiti yapmanın sağlayacağı faydalar şunlar olabilmektedir: Hızlı müdahale, Önleyici tedbirler, Artan güvenlik, Daha az yük ve Daha az maliyetlidir. Ancak, sistemin etkili bir şekilde çalışması için doğru sensörlerin seçilmesi, doğru veri işleme algoritmalarının kullanılması ve güvenliğin ve gizliliğin sağlanması gerekir. Bu çalışma, mevcut literatüre göre geliştirilmiş bir düşme algılama sistemi sunarak, yaşlılar için daha güvenli ve etkili bir çözüm sağlamaktadır.

Bu çalışmanın başarısı, kemer üzerine bağlanan mikrodenetleyici ile toplanan verilerin doğru bir şekilde değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, önceki çalışmalardan farklı olarak, daha doğal ve rahat bir kullanım deneyimi sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin etkisini artırmayı hedeflemekte ve mevcut literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen sistem, yaşlıların günlük yaşamlarında daha güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için maliyet ve yük azaltılabilirken, yaşam kalitesi ve güvenlik artırılabilir.

Gelecekteki çalışmalar, daha büyük ölçekte deneyler ve farklı yaş gruplarından katılımcılarla sistemin performansının ve etkinliğinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi üzerine odaklanmalıdır. Ayrıca, sistemin güvenlik ve gizlilik konularında daha fazla iyileştirme sağlanması ve yeni teknolojilerin entegrasyonu ile daha etkili hale getirilmesi mümkündür. Bu sayede, düşme algılama sistemleri yaşlı nüfusun güvenliği ve yaşam kalitesi açısından daha büyük bir etkiye sahip olabilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin önemini ve etkisini vurgulamaktadır. Yaşlı nüfusun sürekli artması ve bağımsız yaşamak isteyen bireylerin sayısının yükselmesi, düşme algılama sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için önemli bir motivasyon kaynağı olmaktadır. Çalışmanın amacı, yaşlıların günlük yaşamlarında güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak IoT tabanlı düşme algılama sistemleri geliştirmek ve mevcut sistemlerin kısıtlamalarını aşarak daha etkili ve kullanıcı dostu bir çözüm sunmaktır.

Çalışmamızda, kenar, sis ve bulut IoT katmanları aracılığıyla çalışan bir düşme algılama sistemi sunulmuştur. Kenar katmanı, sensörler ve mikrodenetleyiciler aracılığıyla düşme olayını algılamak ve verileri toplamak için kullanılırken; sis katmanı, verilerin işlenmesi ve analizi için kullanılmaktadır. Özellikle, TinyML algoritmaları sayesinde düşme olasılığının tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bulut katmanı ise, verilerin depolanması ve paylaşılması için kullanılmakta ve aynı zamanda uyarılar ve acil çağruların yapılması için de kullanılmaktadır.

Çalışmanın sonuçları, geliştirilen modelin %98,5'lük yüksek bir başarı oranı ve 0,08'lik düşük bir MSE değeri ile etkili bir düşme algılama performansı sunduğunu göstermektedir. Kemer üzerine bağlanan mikrodenetleyici ile verilerin toplanması ve değerlendirilmesi, önceki çalışmalardan farklı olarak, daha doğal ve rahat bir kullanım deneyimi sağlamaktadır.

Bu çalışma, mevcut literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen düşme algılama sistemi, yaşlılar için daha güvenli ve etkili bir çözüm sunarak, yaşam kalitesini ve güvenliğini artırmaktadır. Sistemin maliyeti düşük ve kullanımı kolaydır, bu sayede yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için yük azaltılabilirken, yaşam kalitesi ve güvenlik artırılabilir.

Öte yandan, bu çalışma ile ortaya çıkan bulgular, düşme algılama sistemlerinin hızlı müdahale, önleyici tedbirler ve artan güvenlik sağlama gibi faydalarını vurgulamaktadır. Sistem, düşme olaylarının anında tespit edilmesini ve uyarı verilmesini sağlayarak, yaşlının durumunun hızlı bir şekilde kontrol edilmesi ve gerekli müdahalelerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, düşme olasılığını önceden tespit edebilme özelliği sayesinde, önleyici tedbirler alınarak yaşlıların güvenliği daha da artırılabilir. Ev içinde yerleştirilmiş sensörler, yaşlının hareketlerini izleyebilir ve düşme olasılığı olduğunda uyarı verebilir, böylece yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için önemli bir güvenlik katmanı sunmaktadır.

Bu çalışma, sınır bilişim ve TinyML teknolojilerinin düşme tespiti ve yaşlı bakımında nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu teknolojiler sayesinde, düşme algılama sistemleri daha düşük maliyetli hale getirilerek, daha fazla yaşlı bireyin ve bakım sağlayıcının erişimine sunulabilmektedir. Bu, yaşlılar için daha iyi bir yaşam kalitesi ve güvenlik sağlamanın yanı sıra, bakım sağlayıcılar için daha az yük ve maliyet anlamına gelmektedir.

Ancak, bu çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle, çalışma örneklemini daha geniş ve farklı yaş gruplarından katılımcıları içermelidir. Bu, düşme algılama sistemlerinin farklı yaş ve sağlık durumlarındaki bireyler üzerindeki etkisini daha iyi anlamamıza olanak sağlayacaktır. Ayrıca, sensörlerin doğru şekilde seçilmesi ve veri işleme algoritmalarının optimize edilmesi önemlidir. Bu sayede, sistemin algılama performansı ve güvenilirliği daha da artırılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin önemini ve faydalarını ortaya koymaktadır. Geliştirilen sistem, yaşlıların günlük yaşamlarında güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak etkili ve kullanıcı dostu bir çözüm sunmaktadır. Sistemin başarısı, sınır bilişim ve TinyML teknolojilerinin yaşlı bakımında ve düşme tespitinde nasıl kullanılacağına dair önemli bilgiler sunmaktadır. Gelecek çalışmalar, bu teknolojilerin daha geniş kapsamlı uygulamalarını ve düşme algılama sistemlerinin daha da geliştirilmesini araştırarak, yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için daha iyi bir yaşam kalitesi ve güvenlik sağlamaya katkıda bulunabilmektedir.

Referanslar

- [1] Cyrus Cooper et al. “Frailty and sarcopenia: definitions and outcome parameters”. *Osteoporosis International* 23 (2012), pp. 1839–1848.
- [2] Yueng Santiago Delahoz and Miguel Angel Labrador. “Survey on fall detection and fall prevention using wearable and external sensors”. *Sensors* 14(10) (2014), pp. 19806–19842.
- [3] Ozge Dokuzlar et al. “Factors that increase risk of falling in older men according to four different clinical methods”. *Experimental aging research* 46(1) (2020), pp. 83–92.
- [4] Glenn Forbes, Stewart Massie, and Susan Craw. “Fall prediction using behavioural modelling from sensor data in smart homes”. *Artificial Intelligence Review* 53(2) (2020), pp. 1071–1091.
- [5] Debra Houry et al. “The CDC Injury Center’s response to the growing public health problem of falls among older adults”. *American journal of lifestyle medicine* 10(1) (2016), pp. 74–77.
- [6] Weidong Min et al. “Human fall detection based on motion tracking and shape aspect ratio”. *Int. J. Multimedia Ubiquitous Eng.* 11(10) (2016), pp. 1–14.
- [7] World Health Organization, World Health Organization. Ageing, and Life Course Unit. WHO global report on falls prevention in older age. World Health Organization, 2008.
- [8] Anita Ramachandran and Anupama Karuppiyah. “A survey on recent advances in wearable fall detection systems”. *BioMed research international* 2020 (2020).
- [9] Ramon Sanchez-Iborra and Antonio F Skarmeta. “Tinyml-enabled frugal smart objects: Challenges and opportunities”. *IEEE Circuits and Systems Magazine* 20(3) (2020), pp. 4–18.
- [10] Mahadev Satyanarayanan. “The emergence of edge computing”. *Computer* 50(1) (2017), pp. 30–39.
- [11] Ygor Rebouças Serpa et al. “Evaluating pose estimation as a solution to the fall detection problem”. In: 2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). 2020, pp. 1–7.
- [12] Andrew Sixsmith and Neil Johnson. “A smart sensor to detect the falls of the elderly”. *IEEE Pervasive computing* 3(2) (2004), pp. 42–47.
- [13] Frank Sposaro and Gary Tyson. “iFall: an Android application for fall monitoring and response”. In: 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2009, pp. 6119–6122.
- [14] George E Stelmach and Charles J Worringham. “Sensorimotor deficits related to postural stability: implications for falling in the elderly”. *Clinics in geriatric medicine* 1(3) (1985), pp. 679–694.
- [15] Erik E Stone and Marjorie Skubic. “Unobtrusive, continuous, in-home gait measurement using the Microsoft Kinect”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 60(10) (2013), pp. 2925–2932.
- [16] Vavoulas George et al. The MobiFall Dataset: Fall Detection and Classification with a Smartphone. *Int. J. Monit. Surveill. Technol. Res.* 2014;2:44–56. doi: 10.4018/ijmstr.2014010103.
- [17] Medrano Carlos et al. Detecting Falls as Novelities in Acceleration Patterns Acquired with Smartphones. *PLoS ONE.* 2014;9:e94811. doi: 10.1371/journal.pone.0094811.
- [18] Frank Korbinian et al. Bayesian Recognition of Motion Related Activities with Inertial Sensors; Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp); Copenhagen, Denmark. 26–29 September 2010; pp. 445–446.
- [19] Vilarinho Thomas et al. A combined smartphone and smartwatch fall detection system; Proceedings of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing; Liverpool, UK. 26–28 October 2015.
- [20] Warden, Pete, and Daniel Situnayake. *Tinyml: Machine learning with tensorflow lite on arduino and ultra-low-power microcontrollers.* O’Reilly Media, 2019.
- [21] A. Tahir et al. “Hardware/Software Co-Design of Fractal Features Based Fall Detection System,” *Sensors*, vol. 20, no. 8, p. 2322, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20082322.