

Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Modelleri Kullanılarak MR Görüntülerinden Demans Sınıflandırma

Dementia Classification from MR Images Using Machine Learning and Deep
Learning Models

Meltem Kurt Pehlivanoğlu

Kocaeli Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Kocaeli, Türkiye

meltem.kurt@kocaeli.edu.tr

Onur Varol

Kocaeli Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Kocaeli, Türkiye

230201119@kocaeli.edu.tr

Osman Aldemir

Kocaeli Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Kocaeli, Türkiye

220202010@kocaeli.edu.tr

Ata Emir Uncu

Kocaeli Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Kocaeli, Türkiye

210201065@kocaeli.edu.tr

Nevcihan Duru

Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Kocaeli, Türkiye

nevcihan.duru@kocaelisaglik.edu.tr

Öz-Alzheimer hastalığının demans seviyesi sınıflandırılması, bu hastalıkın çeşitli özelliklerine göre ayrılır. Bu çalışmada MRI görüntülerinden alzheimer hastalığı demans seviyesinin sınıflandırması amaçlı; çeşitli Erişimsel Sinir Ağları (CNN) tabanlı derin öğrenme modellerinin yanı sıra makine öğrenmesi ve Yapay Sinir Ağları (ANN) modelleri eğitilmiştir. Çalışmada çeşitli görüntüomanipasyonu ve artırma teknikleri uygulanarak yeni veri kümeleri oluşturulmuş, bu veri kümeleri üzerinde model performansları gözlemlenmiştir. Farklı bir bakış açısı olarak MRI görüntülerinden sayısal öznitelikler çıkarılarak, çıkarılan bu öznitelikler ile de modeller kurulmuştur. Görüntüler ve bu görüntülerin sayısal temsilleri ile eğitilmiş modeller arasında en başarılı modeller birleştirilerek füzyon hibrit modeller üretilmiştir. DeneySEL sonuçlara göre hibrit modellerin alzheimer hastalığı sınıflandırmasında performans açısından diğer modellerden daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır.—

Anahtar Sözcükler—demans sınıflandırma; alzheimer hastalığı; makine öğrenmesi; derin öğrenme.

Abstract-The classification of dementia levels in Alzheimer's disease is divided based on various characteristics of the disease. In this study, for the purpose of classifying dementia levels in Alzheimer's disease using MRI images, various Convolutional Neural Network (CNN)-based deep learning models, as well as machine learning and Artificial Neural Network (ANN) models, were trained. Various image manipulation and augmentation techniques were applied to create new datasets, and model performances were observed on these datasets. As a different approach, numerical features were extracted from MRI images, and models were built using these extracted features. Fusion hybrid models were produced by combining the most successful models trained with the images and their numerical representations. Experimental results have proven that hybrid models outperform other models in terms of

performance in the classification of Alzheimer's disease.—

Keywords—dementia classification; alzheimer's disease; machine learning; deep learning; data preprocessing.

I. GİRİŞ

Alzheimer, yaygın görülen bir demans türü olup beyin hücrelerinin yokmasına neden olan ilerleyici bir nörolojik hastalıktır. Bu hastalık, özellikle ileri yaşlarda daha sık görülmekle birlikte, bireylerin zihinsel yetilerinin kademeli olarak azalmasına neden olur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve Alzheimer's Disease International'ın (ADI) [1] verilerine göre 2024 yılında yaklaşık 55 milyon kişi demans hastalığına sahiptir ve bu sayı gün geçtikçe artmaktadır. Alzheimer hastalığı demansın en yaygın sebebidir. 2050 yılına kadar bu sayının 139 milyona ulaşması öngörülmektedir.

Medikal görüntüleme tekniklerindeki hızlı ilerlemeler ve yapay zeka algoritmalarının gelişimi, Alzheimer hastalığının erken teşhisi ve yönetiminde yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Bu yaklaşımın temel taşılarından biri, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) olup, beyin dokusunun yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde etme imkanı sunar. MRI, Alzheimer hastalığının tanısında ve ilerlemesinin izlenmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Alzheimer hastalığında özellikle hipokampus ve kortikal bölgelerde görülen atrofi, MRI görüntülerini sayesinde tespit edilebilir. Bu görüntüler ile hastalığın erken dönemlerinde beyinde meydana gelen yapısal değişiklikler gözlemlenebilir, böylece erken teşhis ve müdahale edilebilir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, CNN tabanlı derin öğrenme modelleri ve hibrit modeller alzheimer hastalığının sınıflandırılmasında önemli bir başarı elde etmiştir. Bu modeller Alzheimer hastalığında demans seviyelerinin sınıflandırılması için kullanılır.

A. Motivasyon ve Katkı

Bu çalışmada, 2024 yılında Kaggle üzerinden paylaşılan [2] Hafif Demanslı (Mild Demented), Orta Seviye Demanslı (Moderate Demented), Demansız (Non Demented) ve Çok Hafif Demanslı (Very Mild Demented) olmak üzere dört farklı Alzheimer hastalığı sınıfa ait MRI görüntülerini içeren veri kümesi literatürde ilk kez kullanılmıştır. Bu veri kümesi üzerinde farklı veri artırma ve manipülasyon teknikleri uygulanarak yeni veri kümeleri oluşturularak alzheimer hastalığının demans seviyelerinin yüksek başarıyla sınıflandırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada üç farklı yaklaşım sunulmuştur: ilk yaklaşım görüntü verileri üzerinde CNN tabanlı modeller (VGG16, Alexnet, Unet, ResNet34, DensNet121, ve çalışmada önerilen manuel CNN modeli Model 1) kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirirken, ikinci yaklaşım bu görüntülerin sayısal temsilleri üzerinden makine öğrenmesi ve ANN tabanlı modellerle (XGBoost, LightGBM, RandomForestClassifier, CatBoost, çalışmada önerilen manuel ANN modeli Model 2) sınıflandırma gerçekleştirir. Sonrasında bu iki yaklaşım ile elde edilen başarılı modeller füzyon edilerek hibrit sınıflandırma modelleri kurulmuştur. Çalışmada kullanılan bu yaklaşım bütünüyle özgündür.

Çalışmanın kaynak kodları GitHub üzerinde [3] erişime açık olarak sunulmuştur.

B. Organizasyon

Çalışmanın ikinci bölümünde son yıllarda literatürde yer alan, alzheimer hastalığı için demans seviyeleri sınıflandırması amaçlı, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerini kullanan çalışmalar verilmiştir. Üçüncü bölümde ise kullanılan veri kümesi detaylandırılmış, dördüncü bölümde demans seviyesi tespiti için kullanılan yöntemler kapsamlı olarak sunulmuştur. Beşinci bölümde elde edilen deneyel sonuçlar detaylandırılarak, son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, literatürde yer alan derin öğrenme ve makine öğrenmesi tabanlı alzheimer hastalığı için demans seviyelerinin sınıflandırması yapan çalışmalar kapsamlı olarak incelenmiştir.

Arafa ve arkadaşlarının 2023 yılında yapmış olduğu çalışmada [4] derin öğrenme teknikleriyle alzheimer hastalığını tespit etmeye odaklanılmıştır. Çalışmada kullanılan veri kümesinde [5]; 717 adet hafif, 2560 demansız, 52 ota seviye, 1792 adet çok hafif demanslı olmak üzere toplam 4 sınıf yer alır. Dengesiz veri problemini çözmek amaçlı; çeşitli veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Çalışmada ImageNet ve

VGG16 modelleri kullanılarak sırasıyla %99,95 ve %99,99 doğruluk oranlarına ulaşılmıştır.

Sorour ve arkadaşlarının 2024 yılında yaptığı çalışmada [6] MRI görüntülerinde derin öğrenme tekniklerini kullanarak alzheimer hastalığını sınıflandırılması ve yüksek tespit doğruluğu amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan veri kümesinde [5] yer alan 4 farklı sınıf sayısı demanslı ve demansız olarak 2 ayrı sınıfa indirgenmiştir. Çalışmada veri artırma tekniği kullanılan (CNNs-with-Aug, CNNs-LSTM-with-Aug, CNNs-SVM-with-Aug ve VGG16-SVM-with-Aug) ve kullanılmayan (CNNs-without-Aug) 5 farklı model kurulmuştur. Deneyel sonuçlara göre CNN-LSTM-with-Aug modeli %99,92 doğruluk oranı ile en başarılı model olmuştur.

Alatrany ve arkadaşlarının 2024 yılında yaptığı çalışmada [7] makine öğrenmesi modelleri kullanılarak alzheimer hastalığının sınıflandırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, Ulusal Alzheimer Koordinasyon merkezinden alınmış 169,408 kayıt (hasta verisi) ve 1024 öznitelik içeren bir veri kümesi [8] kullanılmıştır. Başarımı artırmak için veri kümesindeki öznitelikler önem sırasına göre değerlendirilip gereksiz olan öznitelikler veri kümesinden atılmıştır. Öznitelik sayısı azaltıldıktan sonra, destek vektör makineleri (SVM) kullanılarak modeller oluşturulmuştur. SVM, iki sınıfı sınıflandırmada %98.9 F1-skoru ve çok sınıfı sınıflandırmada ise %90.7 F1-skoru elde etmiştir. Ek olarak bu çalışmada kullanılan SVM modeli hastalığın 4 yıl sonraki ilerleyişini tahmin edip %88 F1-skoru vermiştir.

Vega-Huerta ve arkadaşları 2024 yılında yapmış oldukları çalışmada [9] derin öğrenme teknikleri kullanılarak alzheimer hastalığının sınıflandırılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada, Kaggle'dan alınan 6400 MRI görüntüsü kullanılmış ve veri kümesindeki dengesizlikleri gidermek için veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Çalışmada farklı eğitim senaryoları incelenmiş ve en yüksek doğruluğa sahip önerilen model, MRI görüntülerini ön işleme tabi tutarak dört kategoriye ayırmıştır. Önerilen en başarılı model ile %99.30 doğruluk elde edilmiştir.

Hasan ve Wagler'in 2024 yılında yapmış olduğu çalışmada [10] alzheimer hastalığının ve demans seviyelerinin sınıflandırılması için yeni bir yapay zeka mimarisi önerilmiştir. CNN ve Grafik Konvolüsyonel Ağı (GCN) modellerinin birleştirilmesiyle oluşan füzyon ağı modeli kullanılmıştır. Çalışmada CNN, GCN ve CNN-GCN füzyon ağı modeli dışında önceden eğitilmiş VGG16 modeli de kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veri kümesi Alzheimer Hastalığı Nörogörüntüleme Girişimi (ADNI) veri kümesinden alınmıştır. Önerilen CNN-GCN modeli beş katmanlı çapraz doğrulama yapıldığında %100 doğruluk oranına ulaşmıştır.

Singh ve Kumar'in 2024 yılında yapmış olduğu çalışmada [11] alzheimer hastalığının erken teşhisinde derin öğrenme yaklaşımlarını kullanarak beyin MRI görüntülerinin analizini araştırmaktadır. Çalışmada EfficientNet, MobileNet, DenseNet, ResNet, AlexNet, InceptionV2 ve NASNet gibi çeşitli önceden eğitilmiş CNN modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, ADNI veri kümesinden alınan 6 sınıfı beyin MRI görüntülerini sınıflandırmak için eğitilmiştir. Veri kümesindeki

sınıflar ve sayıları şu şekildedir: Normal Kontrol (Normal Control) sınıfından 616 adet, Önemli Hafıza Sorunu (Significant Memory Concern) sınıfından 35 adet, Erken Hafif Bilişsel Bozukluk (Early Mild Cognitive Impairment) sınıfından 153 adet, Geç Hafif Bilişsel Bozukluk (Late Mild Cognitive Impairment) sınıfından 57 adet, Hafif Bilişsel Bozukluk (Mild Cognitive Impairment) sınıfından 572 adet, Alzheimer Hastalığı (Alzheimer's Disease) sınıfından 115 adet olmak üzere toplam 1548 adet MRI görüntüsü. Görüntüler, yeniden yönlendirme, kayıt, beyin çıkarma, gölgé düzeltme ve segmentasyon gibi çeşitli ön işleme ve manipülasyon aşamalarından geçirilmiştir. Bu işlemler, görüntülerin kalitesini ve tutarlığını artırarak analiz için daha uygun hale getirmiştir. Çalışmada EfficientNet-B0 modeli en başarılı model olup doğruluk, kesinlik, hassasiyet, F1-skoru ve AUC değerleri sırasıyla %99.79, %99.39, %99.37, %99.78, %99.95 olarak elde edilmiştir.

Fırat ve Üzen'in 2024 yılında yapmış olduğu çalışmada [12] alzheimer hastalığının MRI görüntüleri kullanılarak sınıflandırılması için yeni bir derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Bu model, Inception modülü ve sıkma-uyarma (SU) bloğunu birleştirerek, diğer CNN tabanlı modellerden daha yüksek doğruluğa ulaşmayı hedeflemiştir. Inception modülü farklı ölçeklerde çoklu paralel evrişimler kullanarak, SU bloğu ise minimum ek parametre ile modelin performansını artırmıştır. Çalışmada, Kaggle'da yayınlanan 4 sınıfa sahip toplam 6400 adet görüntüye sahip veri kümesi [13] üzerinde yapılan deneylerde %98,28 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, özellikle CNN tabanlı modellerin demans seviyeleri sınıflandırmasındaki başarısı açıktır, bu nedenle bu çalışma kapsamında da CNN tabanlı modeller kullanılmıştır. Bunun yanı sıra literatürde yer alan veri kümeleri ile bu çalışmada kullanılan veri kümelerindeki [2] görüntüler özellikle karşılaştırılmış olup, bu veri kümelerindeki görüntülerini kullanan çalışmaya rastlanmamıştır.

III. VERİ KÜMESİ ÖZELLİKLERİ

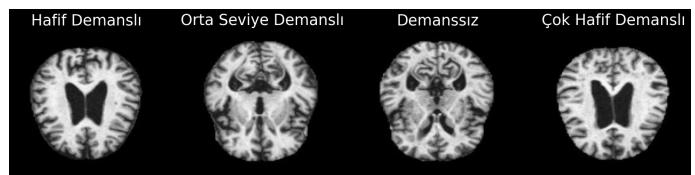
Bu çalışmada [2]'de verilen veri kümesi kullanılmaktadır. MRI görüntülerinden oluşan bu veri kümesinde görüntüler, eğitim ve test olarak iki adet "parquet" dosyasına sıkıştırılmış halde bulunmaktadır.

Veri kümesi hafif demanslı (Mild Demented), orta seviye demanslı (Moderate Demented), demansız (Non Demented) ve çok hafif demanslı (Very Mild Demented) olmak üzere dört farklı sınıf içerir ve eğitim bölümünde 5120, test bölümünde 1280 olmak üzere toplam 6400 görüntüye sahiptir. Çalışmada kullanılan veri kümelerindeki her bir sınıfın ait görüntülerin sayısal dağılımı Tablo I'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında veri kümesi dört-sınıf sınıflandırma başarısı açısından ele alınmıştır. Tablo I'de verilen her bir sınıfın ait etiket bilgileri şu şekildedir: "0": Hafif Demanslı, "1": Orta Seviye Demanslı, "2": Demansız, "3": Çok Hafif Demanslı. Şekil 1'de farklı sınıflara ait MRI görüntü örnekleri verilmiştir.

TABLO I
VERİ KÜMESİNDE YER ALAN HERBİR SINİFA AİT ÖRNEKLEM SAYILARI

Sınıf	Eğitim	Test	Toplam
Hafif Demanslı	724	172	896
Orta Seviye Demanslı	49	15	64
Demansız	2566	634	3200
Çok Hafif Demanslı	1781	459	2240



Şekil. 1. Farklı Sınıflara Ait MRI Görüntüleri

IV. YÖNTEM

Alzheimer hastalığı özelinde farklı hastalık derecelerinin sınıflandırılması için çalışma kapsamında geliştirilen sınıflandırma modellerine ait kapsamlı bilgiler aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

A. Veri Ön İşleme

Orijinal veri kümesi içinde yer alan parquet dosyaları ".png" formatına dönüştürülerek her bir sınıfın ait MRI görüntülerini elde edilmiştir. Daha sonra sınıflara ait görüntü sayılarındaki dengesizliği (özellikle "orta seviye demanslı" sınıfında yer alan örneklem sayısı diğer sınıflara göre oldukça düşüktür) ortadan kaldırmak amaçlı veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Veri artırma amacıyla sırasıyla döndürme, yatay ve dikey kaydırma, parlaklık değişikliği, yakınlaştırma, kanal kaydırma, gürültü ekleme, yatay döndürme, dikey döndürme işlemleri uygulanmıştır. Bunun yanı sıra MRI görüntülerindeki beyin görüntüsünün etrafındaki fazlalık alanlar kırılmıştır. Ayrıca orijinal MRI görüntülerini üzerinde manipülasyon işlemleri uygulanmıştır, uygulanan bu manipülasyon işlemleri ile elde edilen yeni görüntülerde beyin ortasındaki büyük elmas öne çıkarılmıştır.

Tablo II'de veri artırma, kırma ve manipülasyon işlemlerinde kullanılan kod parçaları verilmiştir.

B. Yeni Veri Kümelerinin Oluşturulması

Orijinal veri kümesi üzerinde yapılacak her işlemin (manipülasyon, veri artırma, kırma) başarı oranlarına etkisini gözlemlenmesi için orijinal veri kümesinden yeni veri kümeleri türetilmiştir. Türetilen veri kümeleri sınıflandırma modellerine girdi olarak verilmek üzere, MR görüntülerini "ImageDataGenerator" kullanılarak 32'şerlik yığınlardan (batch_size) oluşacak şekilde düzenlenmiştir. Bunun yanısıra veri kümelerine Tablo II'de verilen ön işlemler uygulanmıştır. Oluşturulan veri kümelerine ait özellikler Tablo III'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

