



OPEN  ACCESS

DUJE

Dicle University Journal of Engineering

ISSN 1309-8640

Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner
Mehmet Siraç ÖZERDEM

Baş Editör / Editor-in-Chief
Mehmet Siraç ÖZERDEM

Alan Editörleri / Field Editors
Bilal GÜMÜŞ
Atilla Gencer DEVEÇİOĞLU
İdris BEDİRHANOĞLU
Mehmet Emin ÖNCÜ

Tasarım-Dizgi / Designing-Editing
Mesut ŞEKER

Yazışma Adresi

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır
Telefon : +90-412 241 10 00 (Dahili: 3637)
Elektronik posta : muhendislikdergisi@dicle.edu.tr
web : <http://dergipark.gov.tr/dumf>, <https://duje.dicle.edu.tr/journal/>

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

ISSN Basılı Materyal: 1309-8640
Online ISSN: 2146-4391

Hakem Listesi / Reviewers List

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilmiş olan makaleleri titiz bir şekilde değerlendiren kıymetli hakem hocalarımıza, değerli katkılarından dolayı teşekkür eder, katkılarının devamını dileriz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Dicle University Journal of Engineering (DUJE) and we expect their contributions to the following journal issues.

- Ahmet Haşim Yurttakal (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
Yasin Sönmez (Batman Üniversitesi)
Mehmet Kaya (Fırat Üniversitesi)
Musa Ataş (Siirt Üniversitesi)
Özge Akboğa Kale (İzmir Demokrasi Üniversitesi)
Seyit Ümit Dikmen (MEF Üniversitesi)
Selim Baradan (Ege Üniversitesi)
Hasan Arman (United Arab Emirates University)
Kadir Gök (Bakırçay Üniversitesi)
Celal Özkale (Kocaeli Üniversitesi)
Mehmet Akif Özdemir (İzmir Katip Çelebi Üniversitesi)
Ahmet ALKAN (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi)
Taha Taşkiran (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
Alper Uysal (YTU)
Sabir Rüstemli (Bitlis Eren Üniversitesi)
Mustafa Kulakcı (Eskişehir Teknik Üniversitesi)
Davut İzci (Batman Üniversitesi)
Ahmet Yahya Teşneli (Sakarya Üniversitesi)
Hasan Polat (Bingöl Üniversitesi)
Kerim Karadağ (Harran Üniversitesi)
Sencer Ünal (Fırat Üniversitesi)
İhsan Tuğal (Muş Alparslan Üniversitesi)
Hasan Gündüz (Muş Alparslan Üniversitesi)
Mesut Gör (Fırat Üniversitesi)
Mustafa Cansız (DU)
M. Bahaddin Kurt (DU)
Mehmet Salih Keskin (DU)
Fatma Meral Halifeoğlu (DU)
Erol Kılıçkap (DU)
Muhammet Ali Arserim (DU)
Abdulkadir Albayrak (DU)
Yurdagül Benteşen Yakut (DU)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Rekabetçi Evrimsel Algoritmalar ile Yuvarlak Papyon Anten Tasarımı (Araştırma Makalesi)
Rounded Bowtie Antenna Design with Competitive Evolutionary Algorithms
(Research Article)
Ahmet Uluslu **551**
- FastTrafficAnalyzer: An Efficient Method for Intrusion Detection Systems to Analyze Network Traffic* (Research Article)
Recep Sinan Arslan **565**
- Bacterial Disease Detection for Pepper Plant by Utilizing Deep Features Acquired from DarkNet-19 CNN Model* (Research Article)
Alper Özcan, Emrah Dönmez **573**
- Konuşmalardaki duygunun evrimsel LSTM modeli ile tespiti (Araştırma Makalesi)
Convolutional LSTM model for speech emotion recognition (Research Article)
Ömer Faruk Öztürk, Elham Pashei **581**
- Lifetime and performance alteration of photovoltaic panels, the case of Aerzen, Germany*
(Research Article)
Furkan Dinçer **591**
- Mapping of electric field intensity distribution in the 27 MHz - 3000 MHz frequency range in Diyarbakir city center* (Research Article)
Mehmet Veysel Önlü, Hüseyin Özmen, Muhammed Bahaddin Kurt **595**
- A Classification Approach for Focal/Non-focal EEG Detection Using Cepstral Analysis*
(Research Article)
Delal Şeker, Mehmet Sıraç Özerdem **603**
- Banka Ödemelerinde Dolandırıcılığın Çizge Madenciliği ve Makine Öğrenimi Algoritmalarıyla Tespiti (Araştırma Makalesi)
Detection of Fraud in Bank Payments Using Graph Mining and Machine Learning Algorithms (Research Article)
Hande Çavşı Zaim, Esra Nergis Yolaçan, Eyyüp Gülbandır **615**
- Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyon Tekniği ile Beş Fazlı Asenkron Motorun Matlab/Simulink Modeli (Araştırma Makalesi)
Matlab/Simulink Model of Five phase Induction Motor with Sinusoidal Pulse Width Modulation Technique (Research Article)
Ezgi Taşkın, Mehmet Özdemir, İsmail Sarigül **627**
- Comparison of ongoing COVID-19 pandemic confirmed cases/deaths weekly forecasts on continental basis using R statistical models* (Research Article)
Zeydin Pala, Ahmet Faruk Pala **635**

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Ergonomic Risk Assessment in Automotive Welding Lines and Comparison of Method Output (Research Article)
Aynur Gürsoy Özcan **645**

Investigation of the Effect of Drill Bit Feature on Hole Surface Quality and Tool Wear (Research Article)
Murat Kıyak **661**

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

İnşaat projelerinde iş değişiklik emri takibi ve hak taleplerinin yönetimi üzerine bir vaka araştırması (Araştırma Makalesi)
A case study on change order tracking and claim management in construction projects (Research Article)
Betül Temel, G. Emre Gürcanlı, Senem Bilir Mahçiçek **669**

TBDY-2018'deki Yerel Zemin Koşullarının Deprem Kesit Tesirlerine Etkisi (Araştırma Makalesi)
Effect of Local Ground Conditions on Earthquake Section Effects in TBDY-2018 (Research Article)
Mehmet Hayrullah Akyıldız, Ali Emre Ulu, Kübra Adar **679**

Investigation of structural problems on the ground and walls of Diyarbakir Historical Behram Pasha Mosque by the georadar (GPR) method (Research Article)
Nursen Işık **689**

Settlement Analysis of Geosynthetics Reinforced Embankments (Research Article)
Mohammad Salem Noori, Kaveh Dehghanian **699**

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlevin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu nedenle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu yayının herhangi bir kısmı, mühendislik dergisinin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.



Rekabetçi Evrimsel Algoritmalar ile Yuvarlak Papyon Anten Tasarımı

Rounded Bowtie Antenna Design with Competitive Evolutionary Algorithms

Ahmet Uluslu^{1*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul, Orcid No: 0000-0002-5580-1687

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 10 Nisan 2021
Düzeltilme: 28 Temmuz 2021
Kabul: 27 Ağustos 2021

Anahtar kelimeler:

Optimizasyon, WLAN, 5 GHz,
ateşböceği, diferansiyel evrim,
guguk kuşu arama

ÖZET

Bu çalışmada kablosuz yerel alan ağları (WLAN) uygulamaları için 5 GHz bandındaki yuvarlak papyon antenin tasarım parametrelerinin seçimi rekabetçi evrimsel algoritmalar ile çok boyutlu ve çok amaçlı bir tasarım optimizasyon problemi olarak sunulmuştur. Bu zorlu tasarım optimizasyonun üstesinden gelebilmek için yeni, hızlı ve güçlü optimizasyon algoritmaları, ateşböceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama kullanılarak anten optimizasyon işlemi rekabetçi bir biçimde karşılaştırılmıştır. Önerilen anten tasarımı ateşböceği algoritması ile tasarlanan 5 GHz rezonans frekans noktasında geri dönüş kaybı (S_{11}) değeri -56,31 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, önerilen tasarım optimizasyon süreçleri, tüm anten tasarım problemleri için verimli, hızlı ve güvenilir bir çözümdür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 April 2021
Revised: 28 July 2021
Accepted: 27 August 2021

Keywords:

Optimization, WLAN, 5 GHz,
firefly, differential evolution,
cuckoo search

ABSTRACT

In this study, the selection of the design parameters of the round bowtie antenna in the 5 GHz band for wireless local area networks (WLAN) applications is presented as a multi-dimensional and multi-purpose design optimization problem with competitive evolutionary algorithms. To overcome this challenging design optimization, the antenna optimization process was competitively compared using new fast and powerful optimization algorithms, firefly, differential evolution, and cuckoo search. The return loss (S_{11}) value at the 5 GHz resonance frequency point designed with the proposed antenna design firefly algorithm was found to be -56.31 dB. As a result, the proposed design optimization processes are an efficient, fast and reliable solution for all antenna design problems.

Doi: 10.24012/dumf.1001870

* Sorumlu yazar / Correspondence
Ahmet ULUSLU
✉ auluslu@iuc.edu.tr

Giriş

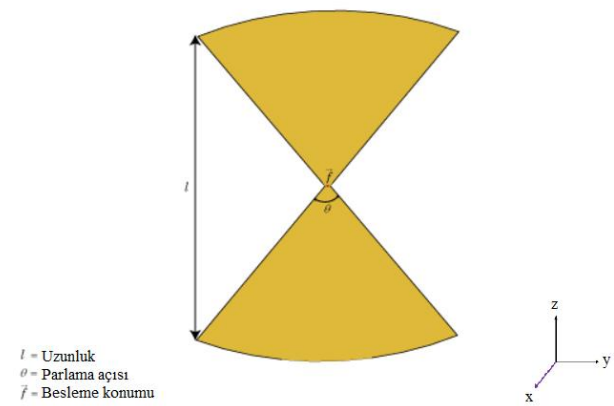
Kablosuz yerel alan ağları (WLAN) ve dipol antenler endüstriyel, tıbbi ve ticari uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu WLAN sistemleri için ayrılan spektrumlar 2,4, 5 ve 5,8 GHz olarak belirtilmiştir [1]. Kablosuz sistemler için bildirilen birçok tek bant veya çift bantlı anten tasarımları mevcuttur [1]- [5]. Çok bantlı anten tasarımları ile birlikte [6]-[8], yakınlardaki iletişim sistemlerine müdahale etmekten kaçınmak için, yalnızca istenen frekans bantlarında çalışabilen bir anten tasarımı da gerekli olabilmektedir. Çoğu durumda, anten boyutu büyüktür ve antenin geometrisi karmaşıktır. Bazı durumlarda da anten kompakt olmasına rağmen oldukça yüksek düzeyde çapraz polarizasyon gösterir [8]. Ayrıca daha yüksek geri dönüş kaybına sahip cihazlara olan talebin artışı kablosuz iletişim sistemlerinin gelişiminde önemli bir rol oynadı. Şu anda her alanda bulunan akıllı binalar, bilgi işlem ve sensor ağlar [9]-[10] da dahil olmak üzere birçok yeni uygulamalar için farklı iletişim frekansları, veri hızları ve kapasiteler sunan birçok kablosuz LAN sistemleri mevcuttur. Bu tür sistemler dar-geniş bantlı ve birçok frekans üzerinde çalışabilen ve aynı zamanda taşınabilir cihazlarda imal edilebilecek kadar küçük olan minyatür geniş bant antenleri gerektirir. Dipol antenler düşük profilli, hafif ve ucuzdur. Entegre devrelerle entegrasyonu kolaydır; bu da onları taşınabilir cihazlarda kullanıma uygun hale getirir. Bununla birlikte, geleneksel dipol antenler, nispeten dar bant genişlikleri ile karakterize edilir. Araştırmacılar, dipol antenlerin geri dönüş kaybını ve kazancını iyileştirmek için birçok iyileştirme yöntemi geliştirmiştir [11]-[14]. Bu iyileştirmeler için başlangıç noktası doğru geometrik boyut seçimidir. İşte bu noktada devreye giren optimizasyonun kullanılması, geleneksel teknikler kullanılarak tasarımların araştırılmasına izin verir. Geometri içeren uygulamalarda genetik algoritmalar (GA) [12] diğer optimizasyon tekniklerine kıyasla daha gelişmiş özelliklere sahip olduğu görülmektedir [13]-[14]. Dipol anten tasarımında, önceden belirlenmiş şekildeki antenin genetik algoritma kullanarak optimum boyutlarının tespiti tekniklerine odaklanmaktadır. Buradaki yaklaşım, antenin boyutunu, karmaşıklığını veya

maliyetini artırmadan dipol antenleri tasarlamak için özellikle uygun ve güçlü bir sınırlandırılmamış GA uygulamasını uygular. Bir sonraki bölümde, kullanılacak olan anten tasarımı sunulmaktadır. Akabinde, bu çalışmada kullanılacak olan algoritmalar akış diyagramları ile anlatılacaktır. Amaç ve maliyet fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra yapılan çalışma kısmı anlatılacaktır. Sonuçlarımız, tüm antenlerde kullanılabilecek bazı önerilerle birlikte son bölümde özetlenmiştir.

Anten Tasarımı

Yuvarlak Papyon Anten

Bir yuvarlak papyon anteni, iki konik çift kutuplu antenlerin düzlemsel bir şeklidir. Yuvarlak papyon antenler, hafif ağırlıklı, düşük maliyetli, düşük profilli ve simetrik radyasyon modeli gibi birçok avantaja sahiptir; bu da onları iletişim sistemleri, kablosuz yerel ağları (WLAN) vb. uygulamalar için yaygın olarak kullanılan anten modellerinden biri yapar [16]-[21]. Bununla birlikte, tasarımın performans ölçüleri büyük ölçüde geometrik tasarım değerlerine bağlıdır. Bu nedenle, yuvarlak papyon antenlerin tasarımı, çok amaçlı, çok boyutlu bir tasarım optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Anten tasarımının üç farklı rekabetçi algoritma ile optimizasyonu için bu çalışmada, üçgen bir dipol yuvarlak papyon anteni dikkate alınmıştır. Anten tasarımının şematiği ve tasarım parametreleri Şekil 1 ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yuvarlak papyon anten

Figure 1. Rounded bowtie antenna

Tablo 1. Anten tasarımı için parametre aralıkları

Table 1. Ranges of parameters for antenna design

Uzunluk (metre)	Genişleme açısı (derece)
0.001 - 0.040	5 - 90

Yuvarlak papyon antenin tasarım optimizasyonu Tablo 1'de verilen optimizasyon değişkenleri kullanılarak rekabetçi evrimsel algoritmalar kullanılarak yapılmıştır.

Evrimsel Algoritmalar

Bu çalışmada, bir dipol antenin optimizasyon sürecinde ateşböceği (FF), diferansiyel evrim (DE), guguk kuşu (CS) olmak üzere üç rekabetçi evrimsel algoritma kullanılmış ve bunların performans değerlendirmeleri doğruluk ve hesaplama verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Ancak, bu algoritmaların ortak özellikleri basit, birkaç kontrol parametresi ile verimli olmaları ve ayrıca bu algoritmaların GA, PSO gibi standart evrimsel algoritmalar üzerindeki üstünlüğünün hesaplama ve mühendislik uygulamalarında gösterilmesidir [22]-[30]. Aşağıdaki alt bölümlerde ateşböceği (FF), diferansiyel evrim (DE), guguk kuşu arama (CS) optimizasyon algoritmaları kısaca verilmektedir.

Ateşböceği

Ateşböceği (FF) algoritması, Yang [22]-[23] tarafından geliştirilen, doğadaki ateş böceklerinin parlama davranışından esinlenen evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır. Ateşböceği algoritmasında iki önemli özellik vardır: Parlaklık (ışık yoğunluğu) I ve çekicilik β . Ateşböceği algoritmasında üç standart kural vardır: (i) Bir ateş böceğinin parlaklığı, belirli bir problemin $f(x)$ amaç fonksiyonunun değeriyle belirlenir. Bir küçültme problemi için parlaklık, amaç fonksiyonu $I_{(x)} \propto 1 / f(x)$ değeriyle ters orantılı olabilir. (ii) Bir ateş böceğinin çekicilik derecesi parlaklığı ile orantılıdır. Sabit ışık soğurma katsayısına sahip belirli bir ortamın üssel soğurması nedeniyle mesafe arttığında parlaklık azalacaktır:

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (1)$$

Burada parlaklık (ışık yoğunluğu) I , ateşböceğinin maksimum parlaklığı I_0 ve ışık soğurma katsayısı γ ile gösterilmiştir.

Herhangi iki ateşböceği arasındaki mesafe:

$$r_{ij} = \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^D (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

Burada D , optimizasyon değişken vektörünün boyutudur; I_0 , ateş böceğinin maksimum parlaklığıdır. Bir ateş böceğinin hareket ettiği mesafe çekiciliğe göre belirlenir. Ateş böceğinin çekiciliği β şu şekilde tanımlanır:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r} \quad (3)$$

β_0 $r = 0$ 'daki çekiciliktir. (iii) Tüm ateşböcekleri üniseks ve cinsiyetlerine bakılmaksızın daha çekici ve daha parlak olanlara doğru hareket edecekler. Belirli bir ateşböceğinden daha parlak veya daha çekici bir ateşböceği yoksa, rastgele hareket edecektir. Böylece bir ateşböceğinin hareketi i daha çekici (daha parlak) başka bir ateşböceğine çekilir, j tarafından belirlenir.

$$\vec{x}_i^{t+1} = \vec{x}_i^t + \beta(\vec{x}_j^t - \vec{x}_i^t) + \alpha_i \varepsilon_i \quad (4)$$

$\beta_0 = 1$ ve $\varepsilon_i^t \in [-1/2, 1/2]$ şeklinde eşit olarak dağıtılmış rastgele sayıların bir vektörü ve α_i rasgele dağıtım faktörü olduğunda, genellikle [31]'de olduğu gibi her ardışık yinelemede azaltılır, ancak bu çalışmada rastgele $\alpha_i \in [0, 1]$.

Algoritma 1: Ateşböceği Algoritmasının Sözde Kodu

Parametreler, PopBoyut, Max_İterasyon, γ , I_0 , β , ε_{Req} aşağıdaki gibidir.

- (1) PopBoyut: Ateşböceği popülasyonunun boyutu.
- (2) Mak_İterasyon: Maksimum yineleme sayısı.
- (3) γ : Işık soğurma katsayısı.
- (4) I_0 : Ateşböceğinin maksimum parlaklığı.
- (5) β : Bir ateş böceğinin çekiciliği.
- (6) ε_{Req} : İstenen arama hassasiyeti.

Gereksinim: PopBoyut, Mak_İterasyon, γ , β , ε ve maliyet fonksiyonu.

D boyutlu arama alanı içinde ateşböceklerinin konumlarını rastgele olarak başlatın.

```

WHILE Iter < Mak_İter VE  $\epsilon_{Req} < \epsilon$ 
  FOR J = 1 için: PopBoyut
    Kullandığım her ateş böceğinin parlaklığını hesaplayın (1-2).
  END
  Hedef fonksiyon değerine göre maksimum parlaklık  $I_0$  olan ateş böceğini seçin.
  FOR İ = 1 için: PopBoyut
    (1-2) kullanarak ateşböceği bağlı parlaklığını hesaplayın, ateş böceğinin hareket yönünü göreceli parlaklıkla belirleyin.
    Çekiciliği hesaplayın  $\beta$  (3)'e göre, ateş böceklerinin uzay konumlarını (4)'e göre güncelleyin.
  END
END

```

Diferansiyel Evrim

Diferansiyel evrim (DE) algoritması, gerçek değerli sayısal optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş popülasyon tabanlı evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır [27-30]. Geleneksel benzerlerinden farklı olarak, amaç fonksiyon manzarasını keşfetmek için parametre vektörlerinin farkını kullanan çok etkili bir küresel optimizasyon algoritmasıdır. Diferansiyel evrim algoritması, genetik algoritmanın mutasyon, çaprazlama ve seçim stratejilerini, geçiş sabiti $C_r \in (0,1)$, mutasyon ölçek faktörü $F \in (0, 2)$ ve popülasyon boyutu olan çok az sayıda kontrol parametresi ile kullanır. Bu parametrelerin algoritmanın performansı üzerindeki etkileri iyi incelenmiştir. Daha iyi çözümler oluşturmadaki temel farklılık, genetik algoritmaların çapraz geçişe dayanması, diferansiyel evrimin ise mutasyon işlemine dayanmasıdır. Bu ana işlem, popülasyondaki rastgele örneklenmiş çözüm çiftlerinin farklılıklarına dayanmaktadır. Algoritma, aramayı arama alanındaki muhtemel bölgelere yönlendirmek için bir arama mekanizması ve seçim işlemi olarak mutasyon işlemi kullanır.

D parametrelerinden oluşan bir optimizasyon görevi, D boyutlu bir vektör ile temsil edilebilir. Diferansiyel evrimde, başlangıçta rastgele bir popülasyon büyüklüğü (NP) çözüm vektörleri popülasyonu oluşturulur. Bu popülasyon, mutasyon, geçiş ve seçim operatörleri uygulanarak başarılı bir şekilde geliştirilir.

Algoritma 2: Diferansiyel Evrim Algoritmasının Sözde Kodu

Parametreler, PopBoyut, Mak_İterasyon, F, C_r , ϵ_{Req} aşağıdaki gibidir.

- (1) PopBoyut: Popülasyon boyutu.
- (2) Mak_İterasyon: Maksimum yineleme sayısı.
- (3) F: Ölçek Faktörü,
- (4) C_r : Çapraz geçiş,
- (5) ϵ_{Req} : İstenen arama hassasiyeti.

Gereksinim: PopBoyut, Mak_İterasyon, F, C_r , ϵ ve maliyet fonksiyonu.

G = 0 oluşturma numarasını ayarlayın ve PopBoyut bireylerinin popülasyonunu rastgele başlatın.

```

WHILE Iter < Mak_İter VE  $\epsilon_{Req} < \epsilon$ 

```

```

  IF İ = 1 için: PopBoyut

```

```

    Mutasyon:

```

$\vec{v}_{i,G} = \vec{x}_{r_1,G} + F \cdot (\vec{x}_{r_2,G} - \vec{x}_{r_3,G})$ DE'nin olarak diferansiyel mutasyon şeması aracılığıyla i'inci hedefe karşılık gelen bir donör vektörü oluşturun.

Çaprazlama: Aşağıdaki şekilde iki terimli geçiş yoluyla i'inci hedef vektör $\vec{u}_{i,G} = [u_{1,i,G}, u_{2,i,G}, u_{3,i,G}, \dots, u_{D,i,G}]$ için bir deneme vektörü $\vec{x}_{i,G}$ oluşturun

```

  FOR J = 1: D

```

```

    IF ( $rand_{i,j}[0,1] \leq C_r$  or  $j = j_{rand}$ )

```

```

       $u_{j,i,G} = v_{j,i,G}$ 

```

```

    ELSE

```

```

       $u_{j,i,G} = x_{j,i,G}$ 

```

END

Seçim: Deneme vektörünü değerlendirin

IF $f(\vec{u}_{i,G}) \leq f(\vec{x}_{i,G})$

$\vec{x}_{i,G+1} = \vec{u}_{i,G}$

ELSE

$\vec{x}_{i,G+1} = \vec{x}_{i,G}$

END

END

END

*: {1, 2, ..., PopBoyut } içinde rastgele seçilir ve

** : {1, 2, 3,, D} 'de rastgele seçilir

Guguk Kuşu Arama

Son zamanlarda, guguk kuşu arama (CS) Yang ve Deb [24] tarafından doğadan ilham alan yeni bir popülasyon tabanlı algoritma olarak sunuldu ve küresel yakınsama özelliklerini garanti ettiği kanıtlandı [24-27]. Standart meta-sezgisel GA, özellikle çok amaçlı optimizasyon problemleri için maliyetli olduğu, uygunluk fonksiyonunun tekrar tekrar değerlendirilmesini gerektirmeyen ve makul bir süre içinde bir dizi optimum çözüm sağlayabildiği durumlarda, uygunluk işlevinin tekrarlanan değerlendirmelerine ihtiyaç duyar. Guguk kuşu arama, guguk kuşlarının üreme davranışından ilham alan basit ve hızlı yakınsak bir algoritmadır. Aşağıdaki idealleştirilmiş üç kurala dayanmaktadır: 1) Her guguk kuşu bir seferde bir yumurta (aday çözüm) bırakır ve yumurtasını rastgele seçilen bir yuvaya atar; 2) Yüksek kaliteli yumurtalara sahip en iyi yuvalar (daha iyi çözümler) bir sonraki nesle aktarılacaktır; 3) Mevcut konakçı yuvaların sayısı sabitlenir ve bir guguk kuşunun yumurtladığı yumurta, $p_a \in [0, 1]$ olasılığı ile ev sahibi kuş tarafından keşfedilir. Bu durumda, ev sahibi kuş yumurtayı atabilir veya yuvayı terk edip tamamen yeni bir yuva kurabilir. Kısaca özetlenirse, bir yuvadaki her yumurta bir aday çözümü temsil eder; amaç, yuvalarda pek de iyi olmayan bir çözümü değiştirmek için yeni ve potansiyel olarak daha iyi çözümleri (guguklu yumurtalar) keşfetmektir. Bu çalışmada performans değerlendirme ve karşılaştırma amacıyla NPE

(10, 100) alınmıştır. Bu üç kurala dayanarak, Guguk Kuşu Aramasının (CS) temel adımları, Bileşik Sağ Sol El İletim Hattı (CRLH TL) ultra geniş bant eşleştirme devrelerinin tasarım optimizasyonunda [27] 'deki PSO ve GA ile karşılaştırıldığında başarıyla uygulanmıştır.

Guguk i diyelim ki için yeni çözümler üretirken $x(t+1)$, bir Levy uçuşu gerçekleştirilir.

$$x_i^{-(t+1)} = x_i^{-(t)} + \alpha \oplus Le'vy(\lambda), \quad (5)$$

$$\vec{\alpha} = \alpha_0 \left(x_j^{-(t)} - x_i^{-(t)} \right) \quad (6)$$

Eşitlik'e alternatif olarak. (6), Eşitlikteki vektör. (5), ilgili problemin ölçekleriyle ilişkili olması gereken adım boyutu olan bir skaler ile ikame edilebilir. Çoğu durumda kullanabiliriz. Ürün \oplus , giriş açısından çarpımlar anlamına gelir. Lévy uçuşu ile rastgele yürüyüş, adım uzunluğu vergi dağılımına göre çizildiği için arama alanını keşfetmede daha etkilidir [26]. Kullanılan guguk kuşu arama algoritmasının sözde kodu aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Algoritma 3: Guguk Kuşu Arama Algoritmasının Sözde Kodu [27]

Parametreler, yuvaBoyutu (N), Mak_İterasyon, p_a , ϵ_{Req} aşağıdaki gibidir.

- (1) yuvaBoyutu (N): Konak yuvalarının sayısı.
- (2) Mak_İterasyon: Maksimum yineleme sayısı.
- (3) p_a : Yumurtlayan yumurtanın konakçı tarafından keşif olasılığı,
- (4) ϵ_{Req} : İstenen arama hassasiyeti.

Gereksinim: yuvaBoyutu, Mak_İterasyon, ϵ ve maliyet işlevi.

N konak yuvasının popülasyonunu başlatın.

WHILE Iter < Max_İter VE $\epsilon_{Req} < \epsilon$

Levy uçuşlarıyla Rastgele guguk alın,

Maliyetini / fitness F_i değerini değerlendirin,

yuvaBoyutu (N) arasından bir yuva seçin,

*EGER $F_i < F_j$

J'yi yeni çözümle değiştirin

END

Daha kötü yuvaların bir kısmını (p_a) terk edin, Toplama uçuşları aracılığıyla yeni konumlarda yenilerini inşa edin.

En iyi çözümleri veya yuvaları kaliteli çözümlerle tutmak,

Çözümleri sıralayın ve mevcut en iyi olanı bulun,

END

*: j, rastgele seçilen yuvayı patlatır.

Amaç ve Maliyet Fonksiyonları

Anten ölçüm fonksiyonları arasında, geri dönüş kaybı (S_{11}) ve 90 derecede yönlülük kazancı referans noktası olarak seçilmiştir. Moment yöntemi (MoM) tekniği, karmaşık integral denklemlerinin doğrusal denklem sistemine indirgenip, ağırlaştırılmış artıklar (weighted residuals) kullanarak, çözülmesine dayanır. Bütün ağırlaştırılmış artıklar teknikleri bir ya da birkaç parametreye bağlı deneme çözümleri üretilmesine dayanır [32]. Bu tekniğe dayalı olarak aşağıdaki amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

Amaç fonksiyonu:

$$AF1 = \min\{e^{-\text{yönlendiricilik}/wc1}\} \quad (7)$$

$$AF2 = \min\{e^{\text{geriDonusKaybi}/wc2}\} \quad (8)$$

burada $\text{yönlendiricilik} \geq 0$ ve $\text{geriDonusKaybi} \leq 0$ referans noktaları olarak verilmiştir. Amaç işlevi özetlenir ve aşağıdaki gibi tek bir maliyet işlevi oluşturmak için kullanılır:

$$\text{maliyet} = AF1 + AF2 \quad (9)$$

5 GHz frekansında önceden tanımlanmış performans parametreleri için analiz yapılması gerektiğinden, optimizasyon sürecinde kullanılacak amaç fonksiyonları (7)-(8) seçilmiştir. Belirlenen hedef fonksiyonları ile 10 farklı koşu üzerinden alınan minimum ortalama maliyet (9) ile sonuç belirlenmeye çalışılmıştır.

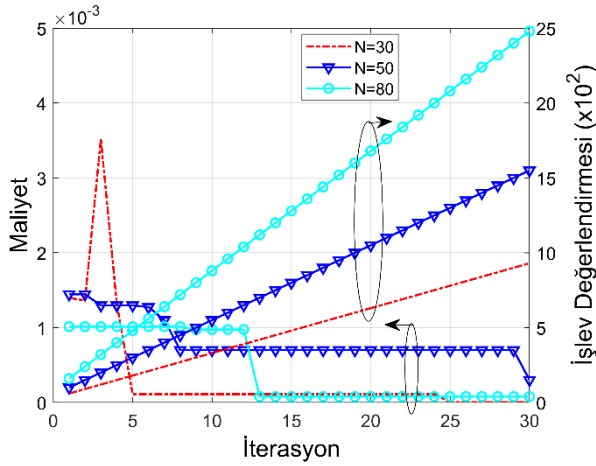
Bu optimizasyon sürecinde karar değişkenleri sırasıyla anten uzunluğu (metre) ve genişleme açısıdır (derece). İhtiyaçların önemi farklı olduğundan farklı ağırlık katsayıları ($wc1$, $wc2$) için denemeler yapılmıştır.

Çalışma Kısmı

Genetik algoritmaların birçoğu aramaya bir nokta yerine bir dizi noktadan başlar. Bu sebepten ötürü algoritma parametrelerinin en optimumunu seçmek çok önemlidir. Kullanılan algoritmalarından ateşböceği algoritması için ışık soğurma katsayısı (γ) = 0,3, bir ateş böceğinin çekiciliği (β) = 0,5 ve istenen arama hassasiyeti (ϵ_{Req}) = 0,5 olarak alınmıştır. Diferansiyel evrim algoritması için ise ölçek faktörü (F) = 0,5, çapraz geçiş (C_r) = 0,5 ve arama hassasiyeti (ϵ_{Req}) = 0,5 olarak alınmıştır. Guguk kuşu algoritması için ise yumurtlayan yumurtanın konukçu tarafından keşif olasılığı (p_a) = 0,5 ve istenen arama hassasiyeti (ϵ_{Req}) = 0,5 olarak alınmıştır. Tüm algoritmalar için maksimum iterasyon = 30 ve popülasyon (N) = 30, 50 ve 80 olarak seçilmiştir. Ayrıca optimizasyon algoritmaları rastgele başlatılmış koşullara ve sürece dayalı olduğundan, sabit maksimum iterasyon ve farklı popülasyon parametreleri için diğer optimizasyon problemlerindeki gibi algoritma kodu 10 kere koşturulmuştur.

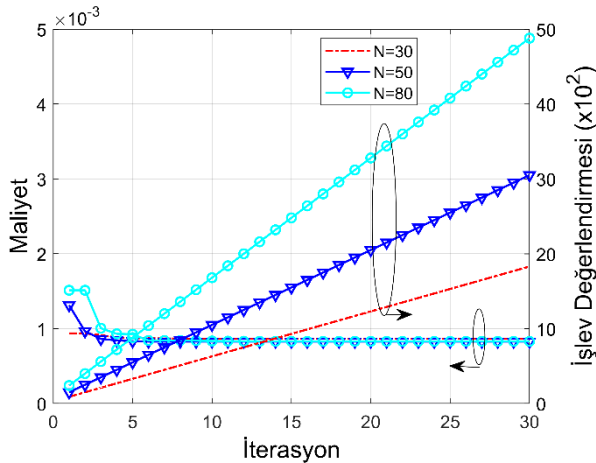
Optimizasyon için Optimal Parametre Seti Seçimi

Çalışmanın bu kısmında 3 algoritmanın (ateşböceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama) popülasyon = 30, 50 ve 80 için 10 farklı koşusundan seçilen en iyi performansın tekrarı ile tipik maliyet ve fonksiyon hesaplama sayısı (FEN) varyasyonları sırası ile Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Ek olarak, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'teki maliyet ve FEN varyasyonları sayısal tablo olarak Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir. Grafik ve tablolara göre diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama algoritmaları için popülasyon (N) = 50 ve ateşböceği algoritması için ise popülasyon (N) = 80 olarak seçilmiştir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde, seçilen optimum parametrelerle devam edilecektir.



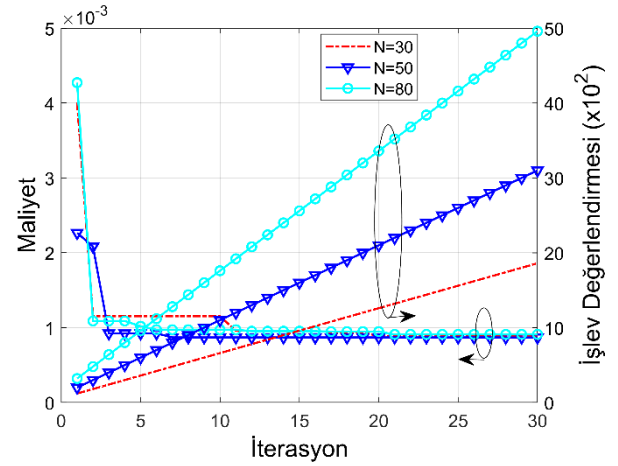
Şekil 2. Ateşböceği algoritması için popülasyona göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FEN varyasyonları

Figure 2. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by population for the firefly algorithm



Şekil 3. Diferansiyel evrim algoritması için popülasyona göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FEN varyasyonları

Figure 3. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by population for the differential evolution algorithm



Şekil 4. Guguk kuşu arama algoritması için popülasyona göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FEN varyasyonları

Figure 4. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by population for the cuckoo search algorithm

Tablo 2. Ateşböceği algoritması için popülasyona göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri

Table 2. Performance evaluations of optimization by population for the firefly algorithm

Popülasyon		Minimum	Maksimum	Ortalama
30	Maliyet	3,95E-06	0,001397459	2,56E-04
	FEN	780	60	930
50	Maliyet	0,000301329	1,45E-03	8,28E-04
	FEN	1550	100	1550
80	Maliyet	7,89304E-05	1,01E-03	4,47E-04
	FEN	1120	160	2480

Tablo 3. Diferansiyel evrim algoritması için popülasyona göre optimizasyon performans değerlendirmeleri

Table 3. Performance evaluations of optimization by population for the differential evolution algorithm

Popülasyon		Minimum	Maksimum	Ortalama
30	Maliyet	8,64E-04	0,000936918	8,72E-04
	FEN	1710	90	1830
50	Maliyet	0,000826929	1,31E-03	8,50E-04
	FEN	2350	150	3050
80	Maliyet	0,000830396	1,51E-03	8,90E-04
	FEN	4880	240	4880

Tablo 4. Guguk kuşu arama algoritması için popülasyona göre optimizasyon performans değerlendirmeleri

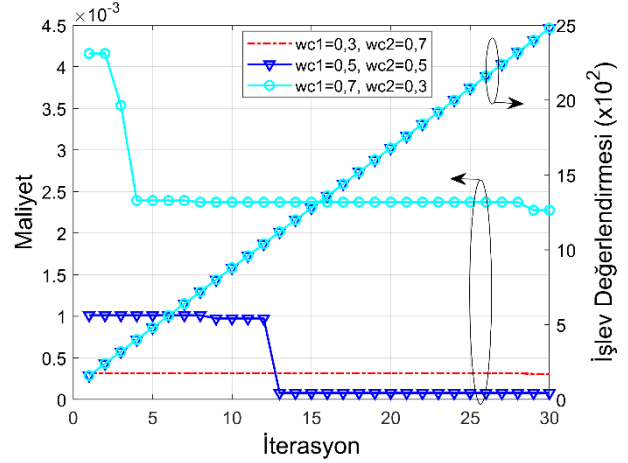
Table 4. Performance evaluations of optimization by population for the cuckoo search algorithm

Popülasyon		Minimum	Maksimum	Ortalama
30	Maliyet	8,84E-04	0,004004882	1,09E-03
	FEN	1260	120	1860
50	Maliyet	0,000868378	2,27E-03	9,64E-04
	FEN	2900	200	3100
80	Maliyet	0,000909947	4,27E-03	1,07E-03
	FEN	3520	320	4960

Maliyet için Ağırlık Katsayısı seçimi

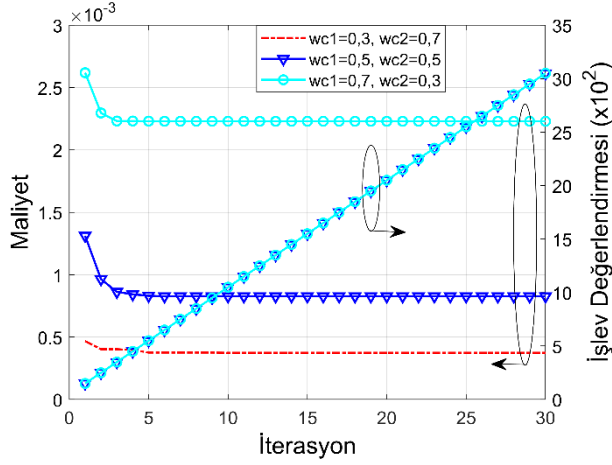
Seçilen algoritmaların çalışma prensiplerinde en düşük maliyet değerine sahip sonuç bulunmaya çalışıldığından maliyet fonksiyonu (9) içerisindeki ağırlık katsayı parametrelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Belirlenen maliyet fonksiyonunda 90 derecede yönlendiricilik kazancı parametresinin ağırlık katsayısı-1 ($wc1$) ve geri dönüş kaybı (S_{11}) parametresinin ağırlık katsayısı-2 ($wc2$) olarak görülüyor. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de ağırlık katsayısı-1 ($wc1$) ve ağırlık katsayısı-2 ($wc2$) = 0,3, 0,5, 0,7 için 10 farklı çalışmadan seçilen en iyi performansın yinelenen tipik maliyet ve fonksiyon hesaplama sayısı (FEN)

varyasyonlarını sırası ile ateşböceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu algoritmaları için göstermektedir. Ayrıca, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'deki maliyet ve FEN varyasyonları sayısal tablo olarak Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.



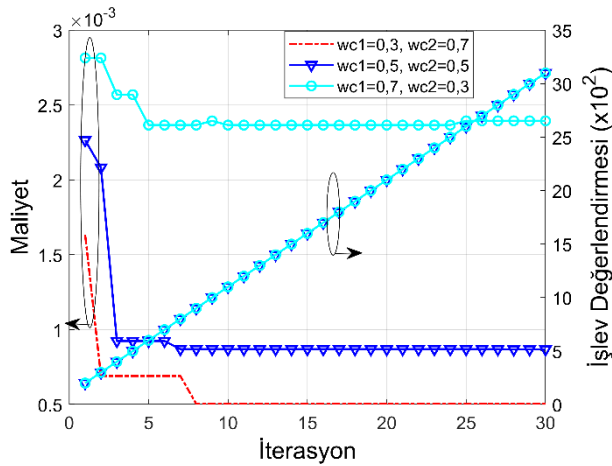
Şekil 5. Ateşböceği algoritması için ağırlık katsayılarına göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelenen tipik maliyet ve FEN varyasyonları (popülasyon (N) = 80)

Figure 5. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by weight coefficients for the firefly algorithm (population (N) = 80)



Şekil 6. Diferansiyel evrim algoritması için ağırlık katsayılarına göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelenmeli tipik maliyet ve FEN varyasyonları (popülasyon (N) = 50)

Figure 6. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by weight coefficients for the differential evolution algorithm (population (N) = 50)



Şekil 7. Guguk kuşu arama algoritması için ağırlık katsayılarına göre 10 farklı koşudan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelenmeli tipik maliyet ve FEN varyasyonları (popülasyon (N) = 50)

Figure 7. Typical cost and FEN variations with iteration of the best performance of optimization selected from 10 different runs by weight coefficients for the cuckoo search algorithm (population (N) = 50)

Tablo 5. Ateşböceği algoritması için ağırlık katsayılarına göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri (popülasyon (N) = 80)

Table 5. Performance evaluations of optimization by weight coefficients for the firefly algorithm (population (N) = 80)

wc1	wc2		Minimum	Maksimum	Ortalama
0,3	0,7	Maliyet	3,07E-04	0,000316109	3,16E-04
		FEN	2400	160	2480
0,5	0,5	Maliyet	7,89304E-05	1,01E-03	4,47E-04
		FEN	1120	160	2480
0,7	0,3	Maliyet	0,002276241	4,16E-03	2,53E-03
		FEN	2400	160	2480

Tablo 6. Diferansiyel evrim algoritması için ağırlık katsayılarına göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri (popülasyon (N) = 50)

Table 6. Performance evaluations of optimization by weight coefficients for the differential evolution algorithm (population (N) = 50)

wc1	wc2		Minimum	Maksimum	Ortalama
0,3	0,7	Maliyet	3,74E-04	0,000467979	3,80E-04
		FEN	1050	150	3050
0,5	0,5	Maliyet	0,000826929	1,31E-03	8,50E-04
		FEN	2350	150	3050
0,7	0,3	Maliyet	0,002229796	2,62E-03	2,25E-03
		FEN	2450	150	3050

Tablo 7. Guguk kuşu arama algoritması için ağırlık katsayılarına göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri (popülasyon (N) = 50)

Table 7. Performance evaluations of optimization by weight coefficients for the cuckoo search algorithm (population (N) = 50)

wc1	wc2		Minimum	Maksimum	Ortalama
0,3	0,7	Maliyet	5,04E-04	0,001635864	9,71E-04
		FEN	900	200	3100
0,5	0,5	Maliyet	0,000868378	2,27E-03	9,64E-04
		FEN	2900	200	3100
0,7	0,3	Maliyet	0,002366233	7,03E-03	3,46E-03
		FEN	600	200	3100

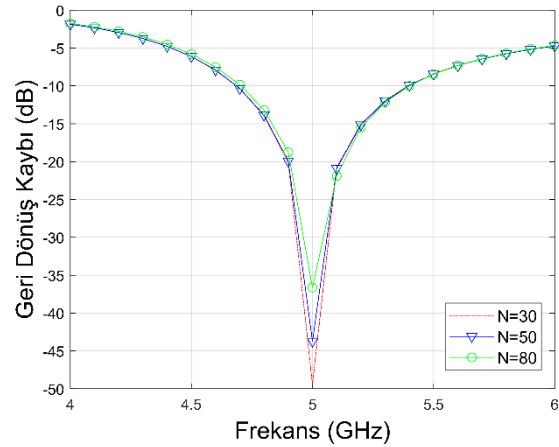
Yuvarlak Papyon Anten için Geri Dönüş Kaybı

Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10 popülasyon (N) = 30, 50 ve 80 değerleri için en iyi performansa sahip üç antenin geri dönüş kaybını (S_{11}) 4-6 GHz arasında tipik büyüklük ve frekans değişimlerini sırası ile ateşböceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama algoritmaları için göstermektedir. Bunun yanı sıra, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'daki büyüklük ve frekanstaki değişimler sayısal olarak Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere popülasyon değerini arttırmak her zaman optimizasyonun yükünü attırırken her zaman en düşük maliyetli sonucu vermediği görülmektedir.

Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'de diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama algoritmaları için popülasyon (N) = 50 ve ateşböceği algoritması için ise popülasyon (N) = 80 parametrelerine ek olarak ağırlık katsayısı-1 (wc1) ve ağırlık katsayısı-2 (wc2) = 0,3, 0,5, 0,7 için en iyi üç performanslı antenin geri dönüş kaybını (S_{11}) 4-6 GHz arasında tipik büyüklük ve frekans değişimlerini sırası ile ateşböceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu arama algoritmaları için göstermektedir. Ek olarak, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'deki büyüklük ve frekanstaki değişimler sayısal olarak Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir. Ağırlık katsayısının (wc1) artmasının geri dönüş kaybı sonuçlarına yansıdığı görülmektedir. Ayrıca tüm şekillerdeki ortalama

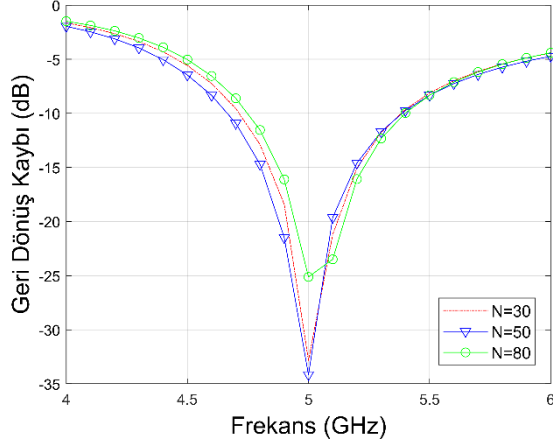
sonuçlara göre antenlerin bant genişliklerinin, 4,5-5,5 GHz arasında olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, önerilen anten tasarımı ateşböceği algoritması ile tasarlanan popülasyon (N) = 80 ve ağırlık katsayısı-1 (wc1) = 0,7 ve ağırlık katsayısı-2 (wc2) = 0,3 için 5 GHz rezonans frekans noktasında geri dönüş kaybı (S_{11}) -56,31 dB iken sırasıyla 1,96 dB, 1,95 dB ve 1,94 dB olmak üzere sırası ile 30, 60 ve 90 derecelerde kazanç değerlerine sahiptir. Ayrıca önerilen anten, belirtilen frekans bandı için %60 ve üzeri bir verime sahiptir.



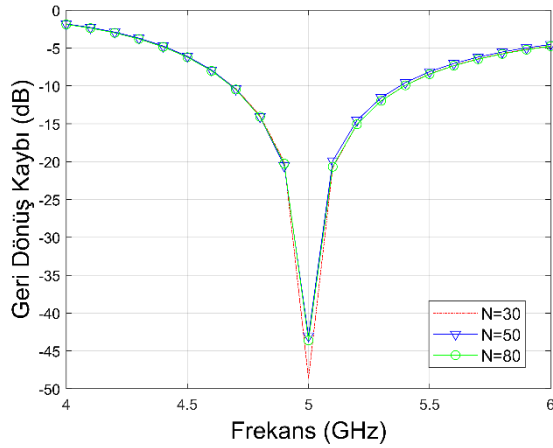
Şekil 8. Ateşböceği algoritması için farklı popülasyon değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı

Figure 8. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different population values for the firefly algorithm



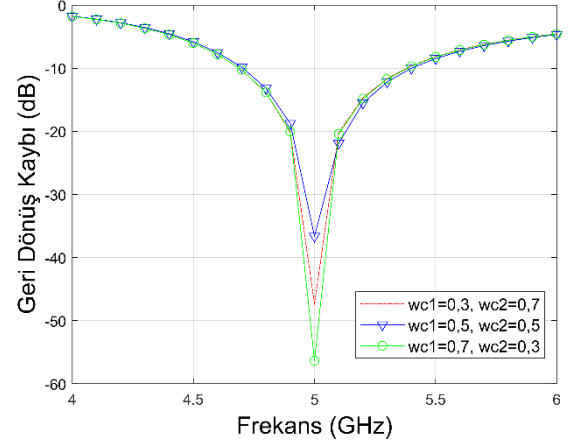
Şekil 9. Diferansiyel evrim algoritması için farklı popülasyon değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı

Figure 9. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different population values for the differential evolution algorithm



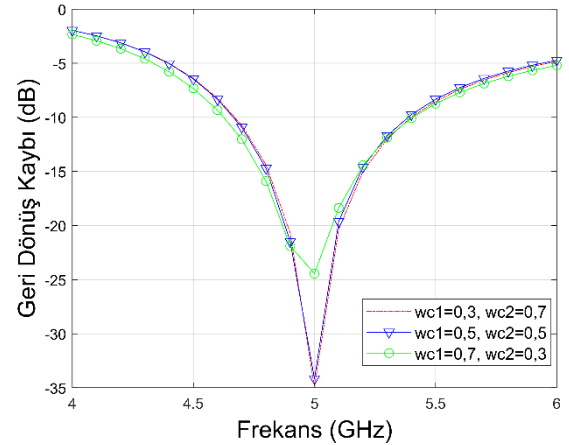
Şekil 10. Guguk kuşu arama algoritması için farklı popülasyon değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı

Figure 10. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different population values for the cuckoo search algorithm



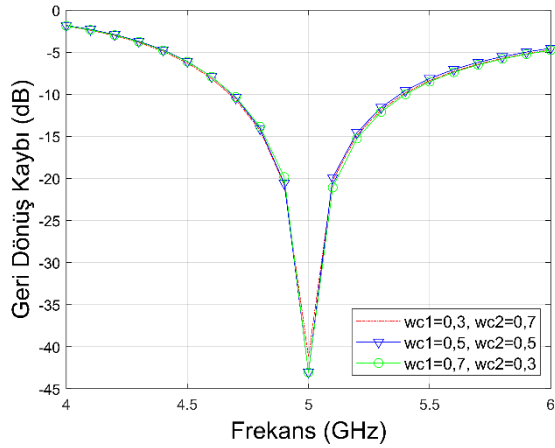
Şekil 11. Ateşböceği algoritması için farklı ağırlık katsayı değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı (popülasyon (N) = 80)

Figure 11. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different weight coefficient values for the firefly algorithm (population (N) = 80)



Şekil 12. Diferansiyel evrim algoritması için farklı ağırlık katsayı değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı (popülasyon (N) = 50)

Figure 12. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different weight coefficient values for the differential evolution algorithm (population (N) = 50)



Şekil 13. Guguk kuşu arama algoritması için farklı ağırlık katsayı değerleri arasından seçilen en iyi performansa göre antenin geri dönüş kaybı (popülasyon (N) = 50)

Figure 13. Return loss of the antenna according to the best performance selected among different weight coefficient values for the cuckoo search algorithm (population (N) = 50)

Tablo 8. Şekil 8 ve Şekil 11'deki geri dönüş kaybı (S_{11}) değerlerinin sayısal formu

Table 8. Numerical form of return loss (S_{11}) values in Figure 8 and Figure 11

wc1	wc2	Popülasyon (N)	Gerİ Dönüş Kaybı (S_{11})
0,5	0,5	30	-49,4
0,5	0,5	50	-43,71
0,5	0,5	80	-36,61
0,3	0,7	80	-47,4
0,7	0,3	80	-56,31

Tablo 9. Şekil 9 ve Şekil 12'deki geri dönüş kaybı (S_{11}) değerlerinin sayısal formu

Table 9. Numerical form of return loss (S_{11}) values in Figure 9 and Figure 12

wc1	wc2	Popülasyon (N)	Gerİ Dönüş Kaybı (S_{11})
0,5	0,5	30	-32,83
0,5	0,5	50	-34,15
0,5	0,5	80	-25,12
0,3	0,7	50	-34,94
0,7	0,3	50	-24,43

Tablo 10. Şekil 10 ve Şekil 13'deki geri dönüş kaybı (S_{11}) değerlerinin sayısal formu

Table 10. Numerical form of return loss (S_{11}) values in Figure 10 and Figure 13

wc1	wc2	Popülasyon (N)	Gerİ Dönüş Kaybı (S_{11})
0,5	0,5	30	-48,62
0,5	0,5	50	-43,01
0,5	0,5	80	-43,61
0,3	0,7	50	-41,18
0,7	0,3	50	-43,06

Sonuçlar

Bu çalışmada, kablosuz yerel ağları (WLAN) ve iletişim sistemlerinde çalışabilen tek bant yuvarlak papyon anten tasarımları, rekabetçi evrimsel algoritmalar ile bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiş ve antenlerin geometrik tasarım parametrelerine göre çözümleri maliyet fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Ateşböceği (FF), diferansiyel evrim (DE) ve guguk kuşu arama (CS) algoritmaları; moment yöntemi (MoM) tekniği kullanılarak elde edilen maliyet fonksiyonu kullanılarak, optimum tasarım değerlerini elde etmek üzere başarıyla uygulanmıştır. Bu sonuçlarda ateş böceği, diferansiyel evrim ve guguk kuşu algoritmaları için en iyi geri dönüş kaybı (S_{11}) değerleri sırası ile -56,31 dB, -34,94 dB ve -48,62 dB olarak bulunmuştur. Ayrıca yönlendiricilik kazanç değerleri sırası ile 1,94 dB, 1,93 dB ve 1,94 dB hesaplanmıştır. Bu üç rekabetçi algoritma arasından, ateşböceği ile optimize edilen sonuç en başarılı olarak seçildi. Elde edilen simülasyon sonuçları, grafiksel şekil olarak ve sayısal form olarak bakıldığında önerilen üç rekabetçi tasarım optimizasyon yöntemleriyle başarılı sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Bu optimizasyon teknikleri performans değerlendirmeleri açısından bir dipol antenin optimal çözümlerini oluşturmak için etkili algoritmalarlardır. Ek olarak, önerilen tasarım optimizasyon süreçleri tek bant yuvarlak papyon anten tasarımı ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda tasarım optimizasyon hedefleri değiştirilerek başka mikrodalga devre tasarımı problemleri için de başarıyla uygulanabilir.

Kaynaklar

- [1] Su, C. M., Chen, W. S., Wong, K. L., (2003). Compact dual-band metal-plate antenna for 2.4/5.2-GHz WLAN operation, *Microw. Opt. Technol. Lett.*, **38**, 113–115.
- [2] Gao, X., Zhong, H., Zhang, Z., Feng, Z., Iskander, M. F., (2010). Low-profile planar tripolarization antenna for WLAN communications, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, **9**, 83–86.
- [3] Wong, K. L., Chou, L. C., Su, C. M., (2005). Dual-band flat-plate antenna with a shorted parasitic element for laptop applications, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **53**, 1, 539–544.
- [4] Chang, T. N., Jiang, J.-H., (2009), Meandered T-shaped monopole antenna, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **57**, 12, 3976–3978.
- [5] Nakano, H., Sato, Y., Mimaki, H., Yamauchi, J., (2005). “An inverted FL antenna for dual-frequency operation,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **53**, 8, 2417–2421.
- [6] Li, R., Pan, B., Laskar, J., Tentzeris, M. M., (2008). A novel low-profile broadband dual-frequency planar antenna for wireless handsets, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **56**, 4, 1155–1162.
- [7] Jan, J. Y., Tseng, L. C., (2004). Small planar monopole antenna with a shorted parasitic inverted-L wire for wireless communications in the 2.4-, 5.2-, and 5.8-GHz bands, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **52**, 7, 1903–1905.
- [8] Liu, W. C., Wu, C. M., Dai, Y., (2011). Design of triple-frequency microstrip-fed monopole antenna using defected ground structure, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **59**, 7, 2457–2463.
- [9] Minasian, A. A., Bird, T. S., Atai, J., (2011). Particle swarm antennas for wireless communication systems,” in *Proc. EuCAP, Rome, Italy*, 897–899.
- [10] Minasian, A. A., Bird, T. S., (2012). Complementary particle swarm antennas for next generation wireless communication systems,” in *Proc. ISWCS, Paris, France*, 895–898.
- [11] Balanis, C. A., (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley.
- [12] Fisher, L., (2009). *The Perfect Swarm*. New York, NY, USA: Basic Books.
- [13] Robinson, J., Sinton, S., Rahmat-Samii, Y., (2002). Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna, in *Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propagation, San Antonio*, **1**, 314–317.
- [14] Boeringer, D., Werner, D., (2004). Particle swarm optimization versus genetic algorithms for phased array synthesis, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **52**, 3, 771–779.
- [15] Yang, F., Zhang, X.-X., Ye, X., Rahmat-Samii, Y., (2001). Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **49**, 7, 1094–1100.
- [16] Kim, T.-W., Choi, K., Hwang, H.-Y., (2015). Small bowtie monopole UWB antenna, *Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)*.
- [17] Saghlatoon, H., Honari, M. M., Mirzavand, R., Mousavi, P., Kumar, A., La, T. G., Chung, H.-J., (2017). A novel investigation on printed stretchable WLAN antennas, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*.
- [18] Hamid, A.-K., Obaid, W., (2017). Penta-frequency CPW bow-tie aperture antenna for mobile communications, *7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)*.
- [19] Mulchandani, J. D., Gupta, D., Sharma, S. K., Mishra, N., Chaudhary, R. K., (2016). Narrow-band electrically small metamaterial-inspired antenna with bowtie-shaped stub for WLAN, *11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*.
- [20] Mansoul, A., (2017). Reconfigurable multiband bowtie antenna for WiFi, WiMax, and WLAN applications, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*.
- [21] Zhang, Q.-L., Si, L.-M., Wu, Y.-M., Liu, Y., Lv, X., (2014). Design of a coplanar bowtie antenna for WLAN and WiMAX application, *Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*.
- [22] Belen, M. A., Alici, M., Çor, A., Güneş, F., (2014). Performance characterization of a microwave transistor using firefly Algorithm’ *Symposium of electrical- electronics and computer engineering ELECO*, **27**, 29, 491-493.
- [23] Yang, X.S., (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization’, *Stochastic algorithms: Foundations and applications, SAGA, Lecture notes in computer sciences*, **5792**, 169–178.
- [24] Yang, X. S., Deb, S., (2010). Engineering optimization by cuckoo search’, *Int. J. Mathematical modelling and numerical optimization*, **1**, 4, 330–343.
- [25] Wang, F., He, X. S., Wang, Y., Yang, S., (2012). Markov model and convergence analysis based on cuckoo search algorithm’, *Jisuanji Gongcheng/Computer Engineering*, **38**, 11, 180–185.

- [26] Yang, X. S, Deb, S., (2009). Cuckoo Search via Levy Flights', *Proc. of world congress on nature & biologically inspired computing*, 210–214.
- [27] Güneş, F., Karataev, T., Demirel, S., (2016). Composite right/left-handed transmission lines in use for ultrawideband matching of front-end amplifiers with modified cuckoo search optimization', *International Journal of Numerical Modelling: Electronic networks, devices and Fields*, DOI: 10.1002/jnm.21441.
- [28] Storn, R., Price, K., (1997). Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces', *Journal of global optimization*, **11**, 4, 341–359.
- [29] Das, S., Abraham, A. Chacabarty, U.K., Konar, A., (2009). Differential evolution using a neighborhood-based mutation operator', *IEEE Transactions on evolutionary computation*, **13**, 3, 526–553.
- [30] Das, S., Suganthan, P.N., (2011). Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art', *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **15**, 1, 4–31.
- [31] Yang, X-S., (2013). Multiobjective Firefly Algorithm for Continuous Optimization, *Engineering with Computers, Engineering with Computers*, **29**, 2, 175–184.
- [32] Johnson, J.M., Rahmat-Samii, Y., (1999). Genetic algorithms and method of moments (GA/MOM) for the design of integrated antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **47**, 10, 1606-1614.



FastTrafficAnalyzer: An Efficient Method for Intrusion Detection Systems to Analyze Network Traffic

Recep Sinan ARSLAN^{1*}

¹ Kayseri University, Department of Computer Engineering, sinanarslanemail@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-3028-0416

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 May 2021
Received in revised form 2 September 2021
Accepted 7 September 2021
Available online 27 September 2021

Keywords:

Network intrusion detection,
machine learning, feature
conversion, cyber security

Doi: 10.24012/dumf.1001881

* Corresponding author

ABSTRACT

Network intrusion detection systems are software or devices used to detect malignant attackers in modern internet networks. The success of these systems depends on the performance of the algorithm and method used to catch attacks and the time it takes for it. Due to the continuous internet traffic, these systems are expected to detect attacks in real time. In this study, using a proposed pre-processing, internet traffic data becomes more easily processable and traffic is classified by network analysis with machine learning techniques. In this way, the traffic analysis time was significantly shortened and a high level of success was achieved. The proposed model has been tested in the CSE-CIC-IDS2018 dataset and its advantaged verified. Experimental results i) 99.0% detection rate was achieved in the ExtraTree algorithm for binary classification, while a reduction of 82.96% was achieved in the processing time per sample; ii) For multiclass (15 class) detection, 98.5% detection rate was achieved with the Random Forest algorithm, while a 64.43% shortening was achieved in the processing time per sample. As a result, similar classification rate with the studies in the literature has been achieved with much shorter test time.

Introduction

With the emergence and development of network structures, almost all institutions, organizations and companies have established their own large-scale LANs. Large amount of network and sensitive information are stored in these networks [13]. In addition, new device types and network structures have emerged, such as 5G, cloud computing, and the Internet of Things (IoT). With the growth of these systems and networks, ensuring their cyber security is critical [14]. According to the 2021 Cyber Threat Defense Report (CyberEdge, 2021) [4] released by the CyberEdge team and compiled from data provided by 1200 IT security experts working in 19 different sectors in 17 different countries, attacks to companies connected to the internet network have been increased (Figure-1).

These threats in recent years contain denial of service, malicious software attacks, spyware attacks, and continues threats. Especially, advanced persistent threats are dangerous and costly. Because they are carried out by experts in the field and are mostly supported by the governments. They are long-term attacks against governments or big companies for the purpose of data stealing and sabotage of the infrastructure. According

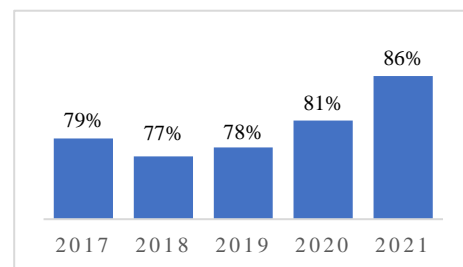


Figure 1. The number of attacks in the last 5 years (CyberEdge, 2021).

to the M-trends 2021 report, as of September 2020, the average waiting time (dwell time), which indicated that attackers have been working on a system or network for more than one year without detection, is 416 days, while the median waiting time between October 1, 2019 and September 30, 2020 is only it has decreased to 24 days [5].

First place of defense in ensuring cyber security in computer networks consist of a security infrastructure that includes Access control, privacy management, authentication and various security policies. However, despite all this defensive structure, it can be targeted by cyber attackers for reasons such as operations problems, other zero-day

exploits and various systemic vulnerabilities. As the second line of defense behind the firewall, IDS systems are tasked with accurately identifying malicious network attacks, providing real-time monitoring, dynamic protection measures, and creating strategies [6]. An IDS can be placed on all independent distributed hosts in a network, or they can be located on a central dedicated server and distribute its service over the network. Network intrusion detection systems (NIDS) designed to detect attacks from a single center for all systems on a network. NIDS monitor network information such as network traffic, protocols, flow metadata, activity logs and try to detect abnormal events. The main purpose of an IDS system is to detect unauthorized computer use and malicious network traffic that is not possible when using a traditional firewall. This system makes it highly protected against malicious acts that endanger the usability, integrity or privacy of computer systems [7].

IDS systems are basically divided into two types such as signature-based intrusion detection systems (SIDS) and anomaly-based systems (AIDS). SIDS uses patterns in its database to detect an attack, previously prepared for a known attack type. When a pattern matches with the signatures in the databases, an alarm is generated. For detection, the host's logs and command sets are analyzed. On the other hand, AIDS is an approach that can produce solutions to many constraints of signature-based systems. In this method, the normal behavior of a computer or network is extracted with the help of machine learning. When there is a deviation between an observed suspicious and the normal behavior pattern of the systems, it is interpreted as an attack. This technique is based on the fact that malicious attackers have different behavioral patterns from normal users [8].

Machine learning approach to attack detection has been studied by researchers for a long time [9, 30]. Large volumes of network metadata and security-related data allow ML to be applied to detect intrusion into systems. Cisco Stealthwatch [10], Darktrace [11], Vectra Cognition [12] which are modern commercial IDSs use ML as part of their security strategy.

In the light of the challenges and requirements given above, a machine learning-based model is proposed for the classification of suspicious internet traffic. The model was evaluated with CSE-CIC-IDS2018 dataset with both multiple and binary classification scenarios.

(1) A new pre-processing model is proposed, which provides significant gains in the training and testing time of the classification models. Thus, it was possible to achieve high classification results in a much shorter time compared to similar studies.

(2) Tests have been carried out with 9 different ML techniques in order to observe the effect of this proposed new pre-processing step on both the reduction rate in the processing time and the classification results, and the results are given comparatively.

(3) Repeated experimental results under similar conditions have been shown that this proposed approach provides similar classification results with existing current studies, while achieving these results 82.96% faster than them. Thus, a model that will contribute to the real-time operation requirements of IDS systems is proposed.

The remainder of the article is organized as follows. In Section 2, the current studies on CSE-CIC-IDS2018 dataset are mentioned in detail. Originally designed pre-processing model are given in Section-3. Experimental results are presented in Section-4. The study has been concluded in Section-6.

Related Works

Intrusion detection systems (IDS) are an up-to-date subject that is studied both in the field of cyber security and as an academic research. For this reason, many studies have been carried both in this area in recent years. Since the proposed model was tested with the IDS2018 dataset, which is one of the best examples of current internet traffic, in this section, studies only conducted with the same dataset are given in this section.

In [17] used the SMOTE datasets balancing algorithm to oversampling the samples of minority classes and then evaluated the results with 6 different ML algorithms (RF, DT, KNN, Adaboost, GB and LDA). The experimental results indicated that the proposed model performed better than the existing models.

In the study [18] on the same dataset, a GMM-based approach is proposed to solve the sample imbalance problem between classes to increase classification performance rate. Thus, by using SMOTE and GMM together, the number of samples in classes was balanced and the results were evaluated. Accordingly, a sample CNN model was designed and demonstrated that balancing the classes improves the learning process and contributes directly to performance enhancement.

In the study conducted on the use of artificial intelligence techniques in IDS systems, it is aimed to classify the botnet attack, which is a serious threat to the finance and banking sectors [19]. In tests performed in IDS 2018 dataset with a designed ANN, a low FP rate of 3% was achieved. ANN have been shown to produce good results in detecting botnet attacks.

In [20], a design has been made in which deep neural network and deep autoencoders are included in the learning process together. A model that uses grid search and random search algorithms together is proposed to determine optimum model parameters. Deep autoencoder, autoencoder and stack autoencoder are used for feature extraction. As a result, more successful results have been obtained in multiclass classification than previous approaches.

An artificial neural network-based model has been proposed [21]. It is aimed at ensuring security in software defined networks, in which packet analysis is separated from the traffic routing processes. It has been shown in the

tests that it is more beneficial to use much more complex and multilayer neural network to increase classification performance. It has been stated that LSTM-based models produce more successful results for real life usable system designs.

Increasing data flow in the network can cause attacks and intrusions. In order to prevent attacks, it is necessary to quickly classify large amounts of data with little cost. In [22], unsupervised feature selection method is proposed to avoid the cost of tagging network traffic. Thus, it is aimed to achieve better classification results while reducing computational complexity. Experimental results with IDS 2018 have confirmed that the proposed method is suitable for use in LAN and mobile ad-hoc networks and other networks with variable data density.

Based on the insufficiency of signature-based approaches in the detection of cyber-attacks in today's conditions, a deep learning-based approach has been proposed [23]. It is a working model only for DoS attacks. For this reason, tests were carried out on the records for DoS among the types of attacks found in the KDD and IDS2018 dataset. As a result of the tests performed with CNN and RNN-based models, it has been shown that the CNN model is more successful.

Apart from the ones given in this section, many survey articles covering all IDS related studies from past to present have been prepared [24-26], and they have been evaluated comparatively regardless of the data set.

System Architecture

The evaluation of the proposed model in dataset was prepared in Python and tested with a structure supported by pandas [1], sklearn [2] and xgboost [3] modules. In the current application, 9 supervised machine learning classifiers were used. 6 of them are tree-based, decision tree, random forest, gradient-boosted trees (gradient boost), random decision trees (extra tree) and extreme gradient boosted trees (xgboost), 1 of them is neighborhood-based, k-nearest neighbor (KNN) and 2 of them are SVM based, linear SVC and logistic regression.

The NIDS problem

The main purpose of NIDS is to follow the system operating process and behavior. In this way, they determine when the attacks occur and create warning messages when necessary. Thus, it is to ensure that field experts can mitigate the bad consequences that will arise. As an input to an IDS system, traffic statistics in a computer network, packet headers and information to be obtained from packet content and process behavior, system call traces, application logs, file system change information coming from host computers can be given. And its output can be like a tagging for each input, attack scoring or categorization. Tags can be both benign or malicious, as well as multi-class attacks such as brute-force, infiltration, SQL injection. Using machine learning algorithms, this problem can be modelled as a classification or anomaly-based detection problem. In the training of the model to be prepared for anomaly detection, a data set consisting of information obtained from the network and hosts will be sufficient. On the other hand, for classification,

tagged inputs is required. Thus, the system that emerged after completing the model training, can be deployed to detect new attacks.

System design and proposed model

A model has been designed in order to observe the effect of the proposed model on the classification results in IDS systems and the time required to obtain these results. The flow-chart of designed model is shown in Figure-2. The CIC-IDS 2018 dataset was used to evaluate the study. Since the experiments are carried out for both multiple and binary classification, the dataset has been subjected to a separate process to use two classification model. Two test processes were carried out, one with the original dataset and the other with the dataset subjected to proposed pre-processing.

In the two test processes carried out for comparison, feature selection, under-sampling, random separation for training and testing, standardization and classification models were kept exactly the same. The purpose of this is to observe the difference and contribution of the proposed model from traditional approaches.

In the feature selection, 80 features found in the original dataset were reduced to 42 features. In this way, both the processing time was saved and the noisy features that negatively affected the training of the model were removed. In addition, features that cannot be mathematically processed such as IP address are eliminated in this section. In the next step, under-sampling was applied. The reason for this is that there are over 18M data in dataset and it is very difficult to transform and process such large amounts of data into vectors for KNN or SVM. For this reason, the number of data has been reduced with under-sampling and a subset that best represents the original dataset is obtained. Then, this data was separated randomly to be used in the training and testing as 70%-30%. Finally, after a standardization of the data, both feature vectors emerging are given to the classification model. The results were compared in terms of both the classification performance rate and the processing time.

When the dataset is examined, it is seen that both the complete parts and the fraction parts of the values for each feature increases up to 10 digits (12.00215875 or 8214251652.0012). Working with high-digit numbers for 40 different properties can cause problems, especially in terms of processing time. This required processing time is quite long for most real-time IDS systems, and it is not directly possible to use the developed models in real life. In order to find a solution to this problem, all data were evaluated according to the approach shown in Figure-3 and all values were changes to 0 or 1.

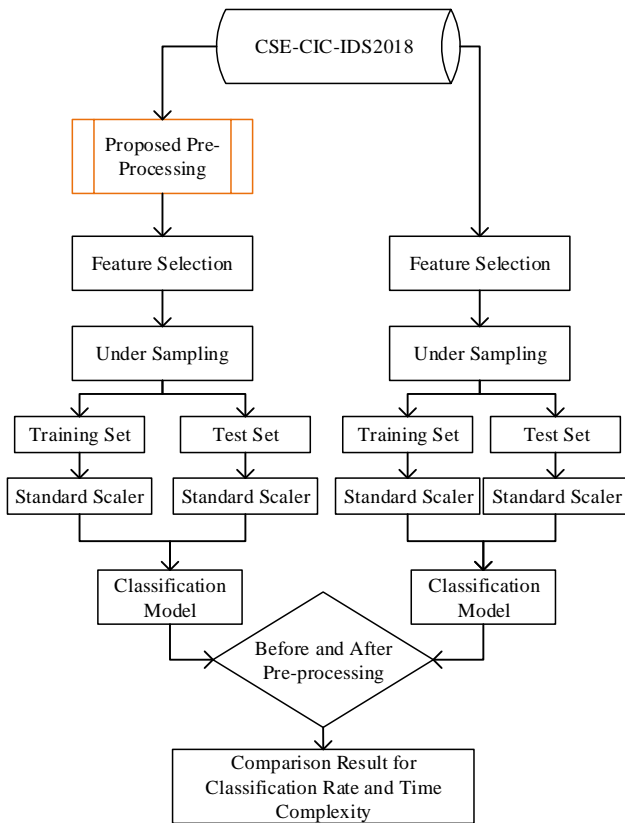


Figure 2. System overview of proposed model.

Regarding the proposed model, first of all, the average value in the whole dataset was calculated separately for each feature. According to this average, the value of each feature is changes to 1 if it is greater than the average value and 0 if it is less than the average value. Thus, the average value calculated on a feature basis is used as a threshold. Thus, instead of working with decimal numbers of internet traffic, it is possible to work with feature vectors with values of 0 and 1. As a result, it is aimed to produce feature vectors that will be easier and faster to work with in both training and testing processes of classification algorithms.

As the data is changes with the approach shown in Figure-3, it is necessary to observe whether the emerging new feature vector eliminates meaningful data. If significant value is lost, classification performance will decrease. In this case, even if you have a faster classification and testing process, performance will be lost. In order to observe this situation, the experiments, the details of which are given in the next section, have been carried out.

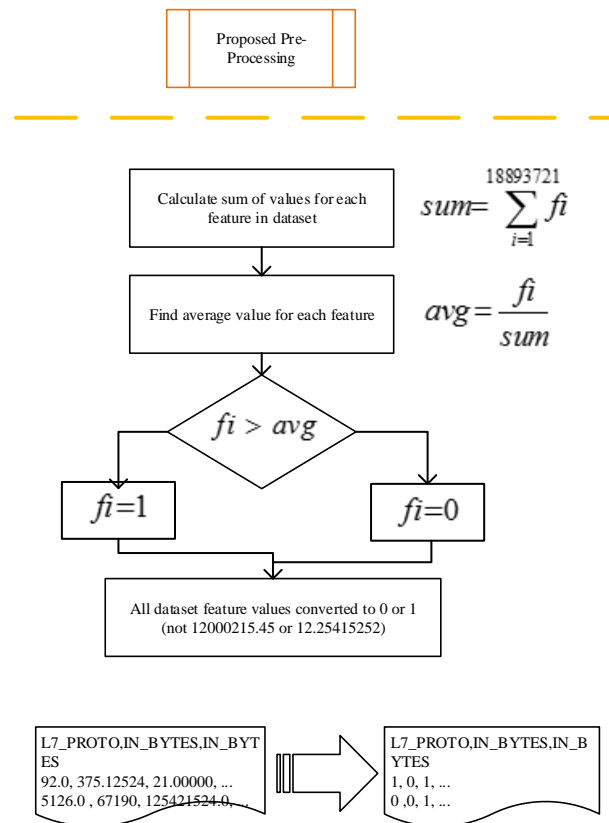


Figure 3. Details of proposed pre-processing model.

Experimental Design and Results

In this study, it is tried to show that contribution of new pre-processing method in the detection of attacks in IDS systems. Experimental environment, dataset details and test results, which are performed in multiclass and binary, are given in this section and the results are discussed with similar studies.

Experimental design

The test process was carried out on Intel Xeon a 3.5 GHz 8 core processor with 32 GB Ram and Ubuntu 18.04 operating system. It was developed in Python programming language by using sklearn library and tensorflow for machine learning. Imbalanced-learning library is used for under-sampling.

CSE-CIC-IDS2018 dataset

CSE-CIC-IDS2018 was prepared by The Communications Security Establishment (CSE) and the Canadian Institute for Cybersecurity (CIC) for use in attack detection and prevention. It is a dataset representing the traffic flow and attack types of real life network structure and is distributed as open source [15]. It consists of 80 features, including tags. Statistical information about internet traffic constitutes most of the features and obtained with the CICFlowMeter and outputted and based on the flow of network traffic. The details of the scenario and the process of extracting traffic characteristics are explained in [15,16].

Almost all of the features in the dataset consist of continuous features such as dst_ports, protocols,

timestamps, labels. It includes 14 types of attacks in 6 different scenarios including Brute-Force, Botnet, Web attacks, DDoS and infiltration. The total number of records is 18893270. Of these, 16635579 records (%83.07%) represent benign traffic, while the remainder represent malicious. In this study 9.73% is used for training and 4.17% for testing. The amount of data to be used in the training and testing phase of the proposed model is shown in Table-1. It is aimed to prove the objectivity of the proposed model and that is a viable method in real systems by performing the tests with CSE-CIC dataset which is quite large, contains different attack types and internet traffic.

Table 1. CSE-CIC-2018 data distribution (before and after random under sampling with majority).

Category	Attack Types	Size - %		Train – Test (%70-%30) (After Under Sampling)		
Benign		16635579	88.050	442	190	0.028%
DDoS	HOIC	1080858	5.721	756601	324257	47.852%
	LOIC-http	307300	1.627	215110	92190	13.605%
	LOIC-UDP	2112	0.011	1478	634	0.094%
Botnet	Bot	143097	0.757	100168	42929	6.335%
Brute Force	FTP	25933	0.137	18153	7780	1.148%
	SSH	94979	0.503	66485	28494	4.205%
Infiltration	Infiltration	116361	0.616	81453	34908	5.152%
Dos	Hulk	432648	2.290	302854	129794	19.154%
	SlowHTTPTest	14116	0.075	9881	4235	0.625%
	GoldenEye	27723	0.147	19406	8317	1.227%
	Slowloris	9512	0.050	6658	2854	0.421%
Web Attacks	Web	2143	0.011	1500	643	0.095%
	XSS	927	0.005	649	278	0.041%
	SQL Injection	432	0.002	302	130	0.019%
Total		18893270	100	1581141	677632	100%

Evaluation metrics

Various measurement metrics and tools are used to evaluate the results in problems where ML models are used. In this way, it is possible to evaluate the performance and deficiencies of the IDS systems. Explanations of the metrics are given in this section.

Table 2. Confusion matrix of binary classification

		Predicted Class	
		Attack	Benign
Actual Class	Attack	TP	FN
	Benign	FP	TN

TP = True positives, TN = True Negatives, FP = False positives, FN = False Negatives

The confusion matrix is a classification table based on actual class (exact reference) in the rows and the class projected on it in the columns as shown in Table-2. This table can be produced in both multiclass and binary

classification problems. It shows the classification distribution of a model and helps determine the situation in which one class is constantly classified as incorrectly in another class. For example, a DDoS attack can be classified as a continuous exfiltration. The researchers can then examine the possible causes of the problem. These situations regarding models in many different metrics cannot be easily observed.

Using this table, important metrics such as acc, precision, recall and f1-measure are calculated. Thus, it is possible to evaluate the classification performance from different angles.

For multi class problems, these metrics should be calculated separately on a class basis. If it desired to obtain a general value regarding the classification performance, it can be done by using following methods.

- Micro average: Calculates the final value using the sum of the classification metrics for each class (TP = TPClass1 + TPClass2 + ...)
- Macro average: Metrics per class are calculated and averaged. It refers to the process of adding them all and dividing them by the sum of the number of classes.
- Weighted macro average: It is a similar method to calculate macro average, but when obtaining the overall metric value of the model, the number of samples in the classes is also taken into account in the average calculation. All classes are not included in the overall average with equal weight.

Multi class classification

IDS 2018 dataset contains a total of 15 classes, 14 of which are malicious and 1 benign. The first stage of the tests of the model proposed in this study was conducted for the classification of these data. The test results are given in Table-3 in detail.

Table 3. Multiclass classification rate (before and after proposed pre-processing model)

MULTICLASS (15 CLASS) CLASSIFICATION RATE COMPARISON								
	Before Proposed Pre-processing				After Proposed Pre-processing			
	Acc	Prec.	Recall	F score	Acc	Prec.	Recall	F score
Logistic Reg (LR)	0.949	0.937	0.949	0.940	0.989	0.989	0.989	0.989
RF	0.998	0.998	0.998	0.998	0.990	0.990	0.990	0.989
DT	0.998	0.998	0.998	0.998	0.990	0.990	0.990	0.989
LDA	0.965	0.972	0.965	0.967	0.959	0.981	0.959	0.968
ExtraTree	0.998	0.998	0.998	0.998	0.990	0.990	0.990	0.989
XGB	0.996	0.996	0.995	0.997	0.955	0.987	0.955	0.965
GB	0.997	0.997	0.997	0.997	0.955	0.987	0.955	0.965
SVC	0.950	0.947	0.952	0.940	0.990	0.990	0.990	0.989
KNN	0.949	0.937	0.949	0.940	0.989	0.989	0.990	0.990

With the datasets of 15 classes, the tests were tested with 9 different machine learning techniques. When the tests performed with original dataset, a very successful classification performance of 99%. However, high classification rates were obtained in similar studies on this subject. Therefore, the purpose of conducting these tests is to observe the effect of the proposed model on the classification performance. When the results were evaluated, although there was a loss of data during proposed pre-processing, the results were found to be better for some classifiers and similar values for some others.

The required processing times in the experiments are shown separately for each process step in Tablo-4.

Table 4. Multiclass classification time comparison (before and after pre-processing)

MULTI CLASS (15 CLASS) TIME COMPARISON (seconds)		
Extra Tree Algorithm	Before Proposed Pre-processing (original data) (sec.)	After Proposed Pre-processing (sec.)
Loading Data	699.6770	63.0300
Label Encoding	5.4992	0.0035
Under Sampling	743.1130	148.8480
Data Split for Training and Test	9.4730	0.7700
Training time	422.7824	330.1324
Testing time	27.2800	16.5900
Testing time for each sample	0.00004	0.00002

In Table-4, separate time periods are calculated for the process steps that may be needed in a sample machine learning model design. A much faster process is carried out thanks to the proposed pre-processing model in all steps such as reading data, label encoding, under sampling, and classifying data. In addition, more importantly, an average of 64.43% shortening is achieved in the test time per sample. Considering that IDS systems monitor internet traffic in real time and there is an average of 30 thousand or 50 thousand packages per second, the test time of each sample is very important. Thanks to the model proposed in this study, the test time per sample is considerably shortened, and this makes it more possible to use in real-time analysis tools. It this study, it is aimed to make the model with very high classification rate with a shorter processing time. The results support this goal.

Binary classification

In some IDS architectures, traffic differs only as malicious or benign. Malicious traffic is not expected to be categorized separately. In order to simulate this problem, the tests were repeated as binary classification. The obtained results are shown in Table-5.

Table 5. Binay classification rate (before and after proposed pre-processing model)

BINARY (BENIGN- MALICIOUS) CLASSIFICATION RATE COMPARISON								
	Before Proposed Pre-processing (original data)				After Proposed Pre-processing (original data)			
	Acc	Prec.	Recall	F-score	Acc	Prec.	Recall	F score
Logistic Reg (LR)	0.877	0.917	0.829	0.871	0.963	0.983	0.94	0.962
RF	0.975	0.978	0.971	0.975	0.975	0.996	0.95	0.974
DT	0.971	0.970	0.972	0.971	0.975	0.996	0.95	0.974
GNB	0.895	0.965	0.820	0.886	0.905	0.946	0.86	0.901
LDA	0.942	0.960	0.922	0.940	0.946	0.968	0.92	0.944
AdaB	0.976	0.994	0.958	0.976	0.957	0.973	0.94	0.956
ExtraTree	0.974	0.977	0.971	0.974	0.985	0.996	0.96	0.984
GB	0.980	0.999	0.961	0.980	0.968	0.992	0.94	0.967
XGB	0.975	0.991	0.948	0.977	0.975	0.996	0.95	0.974

In this study, a new pre-processing method is proposed to shorten the processing time for classification. It is expected that the shortening of the processing time will not reduce the classification performance. For this purpose, the tests were repeated in the same environments. When the test results related to binary classification are examined, it is seen that generally successful results are obtained as in multi class classification. It has been observed that the pre-processing does not cause any loss in performance. The advantage provided in terms of processing time in the classification shown graphically in Figure-4.

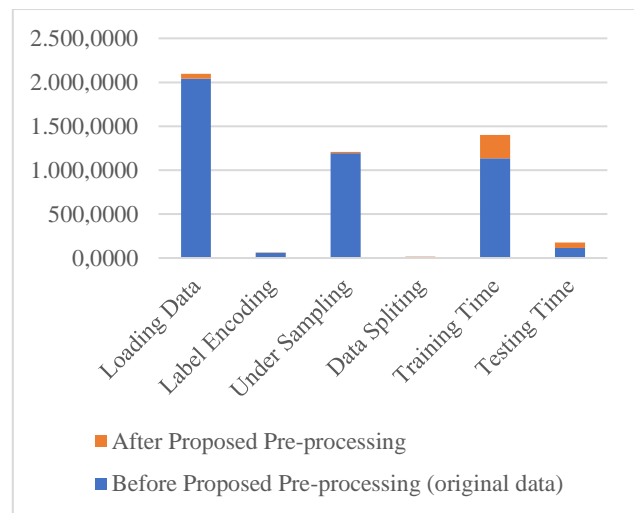


Figure 4. Binary classification time comparison (before and after pre-processing).

If a classification process is divided into steps as shown in Figure-4, the processing times were compared for each processing step. As a result, it is expected that the proposed model needs shorter processing times in all steps. Accordingly, as can be seen in the graph, after the proposed models, considerably shorter processing times were needed than traditional models.

In general, the results show that the direct equivalents of the values obtained from the flow of traffic in IDS systems do not have any meaning in the classification models, there are sharp distinctions between the classes in terms of traffic

characteristics, therefore, it is understood that using the value in a simplified form makes a significant contribution to the processing time.

Comparison with similar works and discussion

The classification results obtained in the studies with the same dataset used in this work are shown comparatively in Table-6. In the test results for multiclass classification were at the same level with other studies. Classification success was achieved with 99%.

In complex and heavy network traffic flows, it is very important to be fast as well as accuracy in classification of it. In the tests performed with proposed model, similar classification rated were achieved with other studies using much shorter processing time. Thus, the classification was possible both quickly and with high accuracy.

Table 6. Comparison with similar works using CSE CIC IDS 2018 dataset

Paper - Year	Dataset	Model Details	Results
Yu et al. [27] - 2021	CIC-IDS 2018, CIC-IDS 2017	Hierarchical packet byte-based CNN (PBCNN)	Acc: 0.999 Precision: 0.982 Recall: 0.983 F1-score: 0.983
Vinayakumar et al. [28]-2019	CIC-IDS 2018, CIC-IDS 2017	ANN 5 hidden layer (1024, 768, 512, 256, 128 node), Relu Activation Function	Acc: 0.962 Precision: 0.962 Recall: 0.965 F1-score: 0.957
Ferrag et al. [29]-2020	CIC-IDS 2018	DNN, RBM, DBFN, CNN, DBM, Deep autoencoder	Acc: 0.9728
Proposed model with original dataset	CIC-IDS 2018	RF, DT, ExtraTree	Acc: 0.998 Precision: 0.998 Recall: 0.998
Proposed model with pre-processed data	CIC-IDS 2018	RF, DT, ExtraTree	Acc: 0.990 Precision: 0.990 Recall: 0.990 F1-score: 0.989

Conclusion and Future Work

In this paper, detailed experimental results of CSE-CIC-IDS2018, which is a modern dataset for the application of ML to network intrusion systems, are shown. Model design

and application details are explained. Tests were carried out with 9 different machine learning algorithms in the type of supervised. Necessary optimization processes were applied in the parameter selection of algorithms. In general, it was determined that tree-based classifiers performed best. Classifiers based on decision trees achieved a certain success value in all classes. For this reason, they have become practically applicable. The most increases were provided for the ExtraTree and SVC classifiers.

In today's, internet traffic is increasing and diversifying due to the increase in internet usage. For this reason, there is a need for tools/analyzers that perform much faster and accurate traffic classification and this need is increasing day by day. With the proposed model in this study, it has been shown that complex traffic can be made much simpler and used in classification. In the future studies, performing analyzes using fewer features will be beneficial in terms of speed. In addition, using artificial neural network structures will allow successful results. It is possible to get more accurate results with more complex learning structures. Finally, unsupervised learning methods can be used that can adapt itself to new attack types (zero day attacks). So that it will always be possible to create up-to-date models.

Conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared. There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared.

Acknowledgement

We special thank to Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, and Ali A. Ghorbani for providing CSE-CIC-IDS2018 Dataset publicly.

References

- [1] McKinney Wes, "Data structures for statistical computing in Python", Proceedings of the 9th python in science conference, 1-6, 2010.
- [2] Pedregosa F, Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion B., Grisel O, et al., "Scikit-learn: machine learning in Python", Journal of Machine Learning Research 12, 2825-2830, 2011.
- [3] Chen T., Guestrin C., "Xgboost: a scalable tree boosting system", Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, August, 2016.
- [4] CyberEdge, 2021. 2021 Cyberthreat Defense Report. <https://cyber-edge.com/cdr/>
- [5] FireEye, 2021. M-trends 2021 Cyber Security Report. FireEye, <https://www.fireeye.com/blog/threat-research/2021/04/m-trends-2021-a-view-from-the-front-lines.html>
- [6] Liao H-J, Richard Lin C-H, Lin Y-C, Tung K. "Intrusion detection system: A comprehensive review", Journal of Network and Computer Applications, 36(1), 16-24, 2013.

- [7] Sunanda Gamage, Jagath Samarabandu, "Deep learning methods in network intrusion detection: a survey and an objective comparison", *Journal of Network and Computer Applications*, 169, 1-21, 2020.
- [8] Ansam Khraisat, Ammar Alazab, "A critical review of intrusion detection systems in the internet of things: techniques, deployment strategy, validation strategy, attacks, public datasets and challenges", *Cybersecurity*, 4(18), 1-27, 2021.
- [9] C Kalimuthan, J. Arokia Renjit, "Review on intrusion detection using feature selection with machine learning techniques", *Materials Today: Proceedings*, 33(7), 3794-3802, 2020.
- [10] Cisco, 2021. Cisco Security Analytics Whitepaper. <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/security/stealthwatch/sw-siem-optimization-wp.pdf>.
- [11] Darktrace, 2021, Preparing for AI-enabled Cyberattacks, Whitepaper, <https://www.darktrace.com/en/mit-preparing-for-cyberattacks/>.
- [12] Vectra Cognito, 2020. How to Augment Security Operations Center with Artificial Intelligence, Whitepaper, https://content.vectra.ai/rs/748-MCE-447/images/WhitePaper_AugmentSOCwithAI.pdf.
- [13] Chencheng MA, XueHui Du, Lifeng Cao, "Analysis of Multi-Types of Flow Features Based on Hybrid Neural Network for Improving Network Anomaly Detection", *IEEE Access*, 7, 1-18, 2019.
- [14] Lan Liu, PengCheng Wang, Jun Lin, LangZhou Liu, "Intrusion Detection of Imbalanced Network Traffic based on Machine Learning and Deep Learning", *IEEE Access*, 9, 1-14, 2021.
- [15] University of New Brunswick (UNB). A realistic cyber defense dataset (CSE-CIC-IDS2018), <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html>.
- [16] Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, Ali A. Ghorbani, "Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization", 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy, 1-9, 2018.
- [17] G. Karatas , O. Demir , O.K. Sahingoz , Increasing the performance of machine learning-based IDSs on an imbalanced and up-to-date dataset, *IEEE Access* 8 (2020) 32150–32162 .
- [18] Hongpro Zhang, Lulu Huang, Chase Q. Wu, Zhanbo Li, "An effective convolutional neural network based on SMOTE and Gaussian mixture model for intrusion detection in imbalanced dataset", *Computer Networks*, 177, 1-10, 2020.
- [19] V. Kanimozhi, T. Prem Jabob, "Artificial Intelligence based Network Intrusion Detection with hyper-parameter optimization tuning on the realistic cyber dataset CSE-CIC-IDS2018 using cloud computing", *ICT Express*, 5, 211-214, 2019.
- [20] Yesi Novaria Kunang, Siti Nurmaini, Deris Stiawan, Bhakti Yudho Suprpto, "Attack classification of an intrusion detection system using deep learning and hyperparameter optimization", *Journal of Information Security and Applications*, 58, 1-15, 2021.
- [21] S. S. Volkov, I I Kurochkin, "Network attacks classification using Long Short-term memory based neural networks in Software Defined Networks", 9th International Young Scientist Conference on Computational Science, 178, 394-403, 2020.
- [22] Mahendra Prasad, Sachin Tripathi, Keshav Dahal, "Unsupervised feature selection and cluster center initialization based arbitrary shaped clusters for intrusion detection", *Computers & Security*, 99, 1-19, 2020.
- [23] Jiyeon Kim, Jiwon Kim, Hyunjung Kim, Minsun Shim, Eunjung Choi, "CNN-based network intrusion detection against Denial-of-Service Attacks", *Mdpi electronics*, 1-21, 2020.
- [24] Mokhtar Mohammadi, Tarik A. Rashid, Sarkhel H.Taher Karim, Adil Hussain Mohammed Aldalwie, Quan Thanh Tho, Moazam Bidaki, Amir Masoud Rahmani, Mehdi Hosseinzadeh, "A comprehensive survey and taxonomy of the SVM-based intrusion detection systems", *Journal of Network and Computer Applications*, 178, 1-23, 2021.
- [25] T. Daniya, K. Suresh Kumar, B. Santhosh Kumar, Chandra Sekhar Kolli, "A survey on anomaly-based intrusion detection system", *Materials Today: Proceedings*, 1-4, 2021.
- [26] Arwa Aldweesh, Abdelouahid Derhab, Ahmed Z. Emam, "Deep learning approaches for anomaly-based intrusion detection systems: A survey, taxonomy, and open issues", *Knowledge-Based Systems*, 189, 1-19, 2020.
- [27] Lian Yu, Jingtao Dong, Lihao Chen, Mengyuan Li, Bingfeng Xu, Zhao Li, Lin Qiao, Lijun Liu, Bei Zhao, Chen Zhang, "PBCNN: Packet Bytes-based Convolutional Neural Network for Network Intrusion Detection", *Computer Networks*, 1-24, 2021.
- [28] R. Vinayakumar, M. Alazab, K. P. Soman, P. Poornachandran, A. Al-Nemrat and S. Venkatraman, "Deep Learning Approach for Intelligent Intrusion Detection System," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 41525-41550, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2895334.
- [29] Mohamed Amine Ferrag, Leandros Maglaras, Sotiris Moschoyiannis, Helge Janicke, "Deep learning for cyber security intrusion detection: Approaches, datasets, and comparative study", *Journal of Information Security and Applications*, 50, 1-19, 2020.
- [30] Mesut Uğurlu, İbrahim Alper Doğru, Recep Sinan ARSLAN, "A new classification method for encrypted internet traffic using machine learning", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Accepted. 2021



Bacterial Disease Detection for Pepper Plant by Utilizing Deep Features Acquired from DarkNet-19 CNN Model

Alper ÖZCAN¹, Emrah DÖNMEZ^{2*}

¹ Akdeniz University, Department of Computer Engineering, Antalya, ORCID: 0000-0002-5999-1203

² Bandırma 17 Eylül University, Department of Software Engineering, Bandırma, ORCID: 0000-0003-3345-8344

ARTICLE INFO

Article history:

Received 09 June 2021
Rec. in rev. form 27 August 2021
Accepted 14 September 2021
Available online xxx

Keywords:

Deep Features, CNN, DarkNet-19,
Plant Disease

Doi: 10.24012/dumf.1001901

* Corresponding author

ABSTRACT

In recent years, computer-aided agriculture applications have been developing rapidly as a prominent research area. In parallel with the developments in technology, the use of automatic systems, sensor fusion, the internet of things, and artificial intelligence-based systems is becoming widespread in agriculture. The use of these systems allows for safer, faster, and more cost-effective operations based on human factors in agricultural applications. Among these applications, there are artificial intelligence applications developed based on image processing and machine learning. Plant disease detection systems are also among these artificial intelligence studies. Within the scope of this study: I. It has been ensured that the leaf images of the pepper plant have been segmented and their features have been extracted from the pre-trained convolutional neural network. II. These obtained features have been classified through the classifier methods in order to detect bacterial disease. In the study, a total of 2475 images of pepper leaves with 1478 healthy and 997 bacterial diseases, which are among the PlantVillage data sets, have been used. To extract the features, the DarkNet-19 network model has been used as a pre-trained convolutional network. The SoftMax classifier in the last layer of the convolutional network model has been removed from the network and SVM, KNN, and Decision-Tree-based classifiers are used instead of it. According to the results, the level of performance achieved using the DarkNet-19 network and SVM classifier is quite satisfactory.

Introduction

The key causes for the degradation and depletion of plants/crops, both quality, and quantity-wise, are plant diseases [1]. Bacteria, fungi, and viruses are the primary cause of plant diseases, and these diseases can be detected by monitoring the leave, stem, or fruit section of the plant. It is very difficult for farmers to identify plant diseases without professional knowledge; farmers face many difficulties in the detection/identification of different plant diseases. It is important to have the expertise, information of crops, their different diseases as well as prevention measures, to make the right choices, and to choose the right efficient protection measures for the diagnosis and treatment. Previously identification and tracking of plant diseases were performed manually with the assistance of specialists in this area, this method of diagnosis of plant diseases is time-consuming, less effective. The identification of such diseases makes it possible for farmers to manage them correctly to improve agricultural productivity. A fully automated disease detection approach for plants is a vital subject of research because of its advantages, such as tracking huge field crops and identifying disease signs faster than any modifications on the plant. [2].

The most common method to detect plant diseases is image processing in the agriculture field. The main goal of image processing is to enhance the image of the plants. Multiple features are extracted from the enhanced image for further processing. Plant leaves are usually the first source of most plant diseases that can be identified. Effective image processing techniques can automatically identify plant diseases [3]. The detection of plant diseases by image processing is not a simple job because of the immense different possibilities for plant image such as noise, instance scale, color, form, etc. Normally, all methods used in this field contain two steps. Prominent features are extracted from the input images of the leaves in the first step, several researchers suggested various methods of extraction to extract features based on data mining, such as intra- and inter-block dependencies for Markov features, color-level features, texture features etc. A special classifier is used in the second step, which classifies the images as healthy or diseased images. Many machine learning methods can be used in this phase such as K-nearest neighbor (KNN) and support vector machine (SVM) [4].

Recent advancements in machine learning research presently perform efficient detection of plant disease from raw images. Currently, deep learning methods are performing better in literature especially in image

processing. Deep learning-based models are based on neural networks. The main feature of the deep learning-based model is it extracts the features automatically. There are multiple neural networks such as CNN, RNN, FNN, ANN etc.

In recent years, CNN and RNN are extensively used in image processing especially for image classification. The hybrid model is introduced in [6] for the extraction of contextual information of plant leaves by using CNN. In [7] the authors used different pre-trained CNN models on the leaf's dataset. The findings of this study indicate that CNN is highly efficient to detect plant leaves diseases.

Pepper cultivations are one of the major crops in South Asia. One of South Asia's most remunerative farming industries is the production of pepper. The most widely consumed spice in the world is black pepper. The success of this crop is reported in the areas where the temperature is around 15-40 C [8]. Many Deep Learning models have lately been developed to evaluate various forms of plant diseases, but relatively limited work has been undertaken to detect plant diseases. It is very important to detect the disease timely to prevent further loss. This study uses deep learning methods to detect the disease in pepper plants. Further, the proposed model is using a DarkNet to detect the disease in pepper plant leaves. The DarkNet is an open-source neural network framework that provides extensive usability in deep learning models.

Literature Review

In this section, we will discuss some of the major studies that are present in the literature to detect plant diseases. In the literature, different machine learning and deep learning methods are used. For convenience, we can categorize the literature into two sections.

- Machine Learning Methods: Multiple machine learning methods have been used in the literature to detect plant diseases such as KNN, SVM, Decision trees, etc.
- Deep Learning Methods: The deep learning methods used in plant disease detection are CNN, RNN, ANN etc.

Machine Learning Methods

Yan-Cheng Zhang & et al [9] proposed a fuzzy selection method on the cotton leaves. The features for this approach were selected by using fuzzy feature selection. The proposed method is divided into two steps. In the first step, the important features are automatically isolated by FC by ignoring the unnecessary features. The second step involves the fuzzy surface to obtain dependent features. This approach is used to reduce the dimensionality of the data for practical implementations.

Shiv Ram Dubey & et al [10] proposed the K-Means clustering approach on the apple fruit for image segmentation. After that, the feature extraction on segmented images is done by Support Vector Machines. The mentioned approach is practically implemented and achieved accuracy up to 93%.

Godliver Owomugisha & et al [11] proposed a machine learning-based application that detects crop disease by capturing an image from the smartphone. The proposed system classifies the plants into 5 categories. The categories are numbered from 1-5 depending on the severity levels of the plants. The number 1 represents the healthy plant and 5 represents the diseased plant. Moreover, they have used multiple feature extraction methods to compare the performance of the model. The main goal of this study was to capture an image of the cassava plant and upload it to the server. The farmers can see the score of the plant from their smartphones.

A. Meunkaewjinda & et al [12] proposed different artificial intelligence techniques to diagnose the grape leaf disease. The proposed work is divided into three categories; i) pre-processing using color segmentation ii) grape leaf disease segmentation iii) classification and analysis of the disease present on the leaves. Support Vector Machine is used for the classification. Three classes are created in this research; scab disease, rust disease, and no disease.

M. Ravindra Naik & et al [13] used SVM to classify the images of the plants whether it is affected by disease or not. Moreover, the genetic algorithm is used for image segmentation. The neural network classifier is used for classification. The proposed model is tested on the banana, jackfruit, and lemon.

Deep Learning Methods

B. Liu et al proposed a deep CNN model to detect the four types of apple leaf diseases. The dataset comprised around 1100 images and was enriched by using some digital image processing techniques. The proposed model was comprised of a modified Alex-net model. The result of this study was compared with other CNN models such as Google Net and Res-Net-20 and the proposed model achieved accuracy up to 97.5% [14].

DeChant et al used a pipeline of CNN to detect the disease in the maize crop. The proposed method used multiple CNNs to classify the different regions of the leaf. After analyzing the different regions, the results are combined in the form of heat maps as an input to the final CNN for classification purposes. The dataset consisted of around 1796 images and the accuracy of the model was around 96.7% [15].

Ma et al proposed a deep convolutional neural network along with different classifiers such as Random Forest, Support Vector Machines to detect the disease in the cucumber. The dataset was collected from the Plant Village dataset, Internet websites, and other sources. Different augmentation techniques are used in this dataset. This model achieved the highest accuracy up to 94% compared to other models in the literature [16].

Lu et al proposed a CNN network to detect the ten different diseases in the rice plant. The deep CNN with multiple pooling strategies is used for disease detection. The dataset used in this research comprises 500 images of healthy and unhealthy rice plant leaves. The proposed model was

compared with traditional machine learning methods and achieved the highest accuracy up to 95.48% [17].

Sladojevic et al proposed a CNN model to detect the diseases in different crops. The proposed model recognized 13 different types of diseases from multiple crops. The dataset was collected from different internet sources. The overall accuracy for the proposed model was 96.3% [18].

Saleem et al extensively discussed deep learning models used to identify various plant diseases. They have compared a number of commonly known CNN models over the plant disease features [19].

Deep Features and Learning Model

In the study, a total of 2475 images of pepper leaves with 1478 healthy and 997 bacterial disease, which are among the widely known PlantVillage datasets, have been used. The dataset occupies a total of 23.6MB in memory. Each image data is in color, gray, segmented JPEG format (see Figure 1). The size of the images has been re-adjusted to the 256x256px size to match the input of the network. The image given below is a snippet of the raw data-set. Within

the scope of the study, the following data were given as input to the network (CNN model) in gray level, color level, and segmented forms. Segmentation [20, 21] may provide better feature characterization by omitting redundant image information from the image. Figure 2 shows healthy and diseased leaf images.

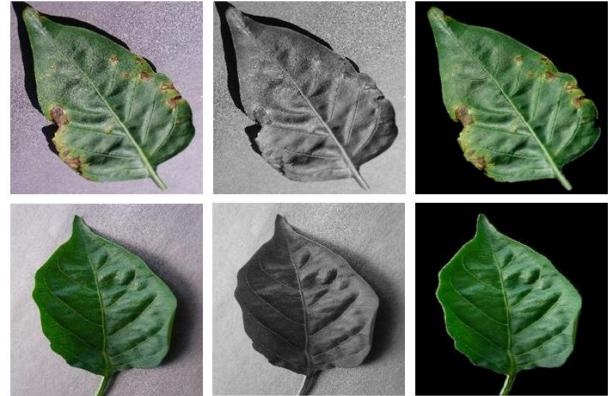


Figure 1. Color, gray and segmented leaf samples (Diseased-top and Healthy-bottom)



Figure 2. Sample healthy (top) and diseased (bottom) pepper leaves images

Under the concept of deep learning, a deep feature is the consistent response of a unit in the hierarchical model to an input. Convolutional Neural Networks (CNN) have multiple hidden layers and convolution core layers that deepen the network architecture [22, 23]. Features extracted from a CNN network are called "deep features." Deep features are the properties of the data obtained by passing it through a multi-layered artificial neural network and subjecting it to convolution processes. This answer contributes to the decision of the model. Unlike traditional feature extraction methods, deep features are obtained from fully connected layers of convolutional neural networks and can be used directly. On the other hand, deep features have been used in many researches and applications instead of features prepared by hand recently. Studies have proven that powerful features can be extracted using deep learning for operations such as object recognition and tracking. Thanks to these attributes, high success has been achieved in many applications such as object recognition, classification or tracking.

DarkNet-19 model, which is a pre-trained convolutional neural network, has been used in this study. It is a new generation network that has been developed recently. This architecture has a 19-layer network structure and 256x256 sized images are given as input to the network. It is a convolutional neural network model developed on the basis of YOLOv2. Like the VGG model, it usually operates with a 3x3 filter. It increases the number of channels to two after each pooling step. It uses 1x1 filters to compress the global average pooling and feature representation to make prediction in the network. The DarkNET exhibits remarkable performance on the real time object detection. The network handles the object detection as a simple regression problem compare to commonly known CNNs.

In the study, the SoftMAX classifier in the last layer of the network has been removed and the naive bayes, the support vector machine, the nearest neighbor and decision tree classifiers have been replaced with it. The features obtained from the fully connected layer have been given directly to these classifiers. Classifiers have been used with their default parameters and no optimization has been made.

Raw images, gray-level images and color-level segmented images in the data-set were given separately to the pre-trained DarkNET-19 network. Performance results have been obtained as a total of 9 test results for all three data and

using all three classifiers. The overall proposed model is given in the following Figure 3.

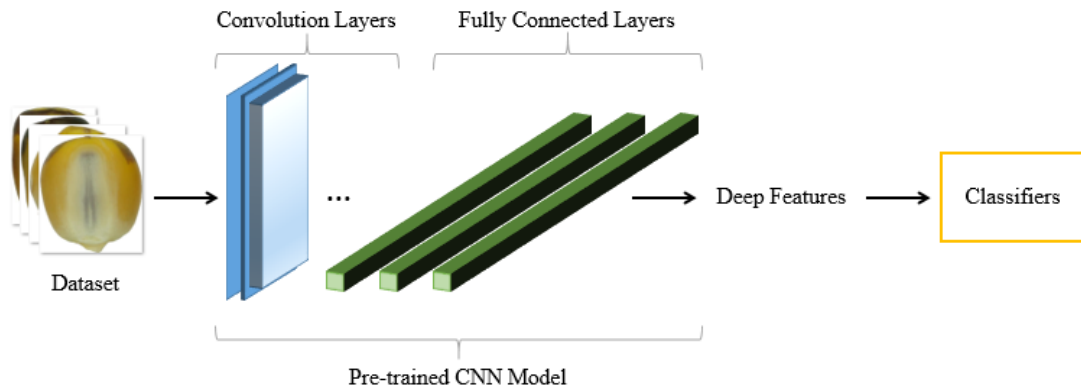


Figure 3. The overall structure of the learning model

The Softmax classifier used in the last layer of the deep learning network is the most basic/primitive classifier known in the literature. The Softmax activation function simply provides normalizing the outputs by converting a number vector to a probability vector. Therefore, four different advanced classifiers have been used instead of SoftMax classifier. These classifiers are Gaussian based Naïve Bayes, Linear Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor and Decision Trees. The utilized classifiers are commonly known methods in the literature. Beside the classifiers, Principal Component Analysis (PCA) method has been used to reduce the dimension of the features. The PCA has been utilized after feature extraction process is completed in the last layer (the classification) of the network. By using it classification process has been made faster. Since the required time to process features decreased because of dimension reduction.

Experiments

The hardware utilized for the experiments has a 6th generation I7 CPU, 8GB RAM, 2GB GTX750 GPU, and 240GB SSD HDD. Experiments have been performed with MATLAB (2020a) environment. The gray-level, color-level and segmented images in the data-set have been given separately to the input of pre-trained DarkNET-19 network. Performance results four classifiers were used for each of the three data sets. For each classifier, observation was made when the PCA was active / inactive. Finally, a total of 24 test results were obtained. The Table 1 demonstrates the feature extraction time on the processed data.

Table 1 Feature extraction time

CNN Model	Feature Number	Feature Acquiring Time
DarkNet-19	1000	382,86s

Gaussian Naïve Bayes (Gaussian NB), Linear Support Vector Machine (Linear SVM), K-Nearest Neighbor (KNN) and Decision Tree (DT) classifiers have been used in the experiments. These classifiers are applied to all of the

features and to a certain part of the features reduced using the Principal Component Analysis (PCA).

Performance metrics used in the study are given in equation (1), (2), (3) and (4). The overall classification performance on the data is expressed with the accuracy (Acc.) metric. The success of finding negative samples in the data is expressed with the precision (Pre.) metric. The success of finding positive samples in the data is expressed with the sensitivity (Sen.) metric. Finally, the harmonic mean of the precision and sensitivity metrics are found with the F-Score metric. This metric is mainly used to avoid making an incorrect model selection in non-uniform data sets.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F - \text{score} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (4)$$

In the Table 2 below, the complexity matrices and performance metrics obtained by using four different classifiers of the features obtained with the gray level data set are given. In addition, the dimensionality of the data has been reduced by PCA method and re-classified in each classification method. When the obtained results have been examined, the highest accuracy has been obtained with the Linear SVM classifier as 93.5%. The second and third highest accuracies have been observed with Linear SVM + PCA and KNN classifiers as 93.1% and 90.5%, respectively. As a result of dimensionality reduction with PCA, the Linear SVM classifier still performed remarkably. On the other hand, it has been determined that the use of PCA significantly has reduced performance in other classifiers. The highest scores in terms of accuracy, precision and sensitivity have been also obtained with the linear SVM classifier.

Table 1 Classification results of gray-level data based on DarkNET-19 features

CNN Model	TP	FP	FN	TN	Acc.	Pre.	Sen.	F-Score	Time
Gaussian NB	812	180	185	1298	85,3%	0,88	0,82	0,82	11,22s
Gaussian NB + PCA	695	232	302	1246	78,4%	0,80	0,75	0,72	17,34s
Linear SVM	899	62	98	1416	93,5%	0,94	0,94	0,92	25,18s
Linear SVM + PCA	880	55	117	1423	93,1%	0,92	0,94	0,91	20,93s
K-NN.	786	25	211	1453	90,5%	0,87	0,97	0,87	42,57s
K-NN. + PCA	335	0	662	1478	73,3%	0,69	1,00	0,50	19,91s
DT	755	190	242	1288	82,5%	0,84	0,80	0,78	19,59s
DT + PCA	699	164	298	1314	81,3%	0,82	0,81	0,75	18,84s

In the Table 3 below, the complexity matrices and performance metrics obtained by using four different classifiers of the features obtained with the color-level data set are given. The dimensionality of the data has been reduced by PCA method and re-classified in each classification method. The highest accuracy has been obtained with the Linear SVM classifier as 98.8%. The second and third highest accuracies have been observed with Linear SVM + PCA and KNN classifiers as 98.3% and

93.7%, respectively. As a result of dimensionality reduction with PCA, the Linear SVM classifier still performed remarkably. On the other hand, it has been determined that the use of PCA significantly has reduced performance in other classifiers. The highest scores in terms of accuracy and precision the linear SVM classifier is outperformed other classifiers and the highest sensitivity metric value has observed with KNN classifier.

Table 3 Classification results of color-level data based on DarkNET-19 features

CNN Model	TP	FP	FN	TN	Acc.	Pre.	Sen.	F-Score	Time
Gaussian NB	877	123	120	1355	90,2%	0,92	0,88	0,88	9,92s
Gaussian NB + PCA	782	180	215	1298	84,0%	0,86	0,81	0,80	17,38s
Linear SVM	976	8	21	1470	98,8%	0,99	0,99	0,99	11,92s
Linear SVM + PCA	962	8	35	1470	98,3%	0,98	0,99	0,98	18,35s
K-NN.	844	2	153	1476	93,7%	0,91	1,00	0,92	39,46s
K-NN. + PCA	338	0	659	1478	73,4%	0,69	1,00	0,51	19,64s
DT	869	99	128	1379	90,8%	0,92	0,90	0,88	17,99s
DT + PCA	788	141	209	1337	85,9%	0,86	0,85	0,82	18,38s

In the Table 4 below, the complexity matrices and performance metrics obtained by using four different classifiers of the features obtained with the color-level data set are given. The dimensionality of the data has been reduced by PCA method and re-classified in each classification method. The highest accuracy has been obtained with the Linear SVM classifier as 97.7%. The second and third highest accuracies have been observed with Linear SVM + PCA and KNN classifiers as 97.5% and

91.1%, respectively. As a result of dimensionality reduction with PCA, the Linear SVM classifier still performed remarkably. On the other hand, it has been determined that the use of PCA significantly has reduced performance in other classifiers. The highest scores in terms of accuracy and precision the linear SVM classifier is outperformed other classifiers and the highest sensitivity metric value has observed with KNN classifier.

Table 4 Classification results of segmented data based on DarkNET-19 features

CNN Model	TP	FP	FN	TN	Acc.	Pre.	Sen.	F-Score	Time
Gaussian NB	834	157	163	1321	87,1%	0,89	0,84	0,84	10,97s
Gaussian NB + PCA	731	199	266	1279	81,2%	0,83	0,79	0,76	19,99s
Linear SVM	957	16	40	1462	97,7%	0,97	0,98	0,97	16,56s
Linear SVM + PCA	946	10	51	1468	97,5%	0,97	0,99	0,97	19,43s
K-NN.	779	3	218	1475	91,1%	0,87	1,00	0,88	40,93s
K-NN. + PCA	304	1	693	1477	72,0%	0,68	1,00	0,47	19,43s
DT	837	119	160	1359	88,7%	0,89	0,88	0,86	20,01s
DT + PCA	770	130	227	1348	85,6%	0,86	0,86	0,81	19,46s

The accuracy performances of the classifiers have been graphically demonstrated for the three (gray, color and segmented) dataset in Figure 4. Ultimately, the best performance has been acquired about 98,8% on color dataset. The second and third best accuracy performances have been observed on color level image dataset with 98,3% and segmented image dataset with 93,7%, respectively.

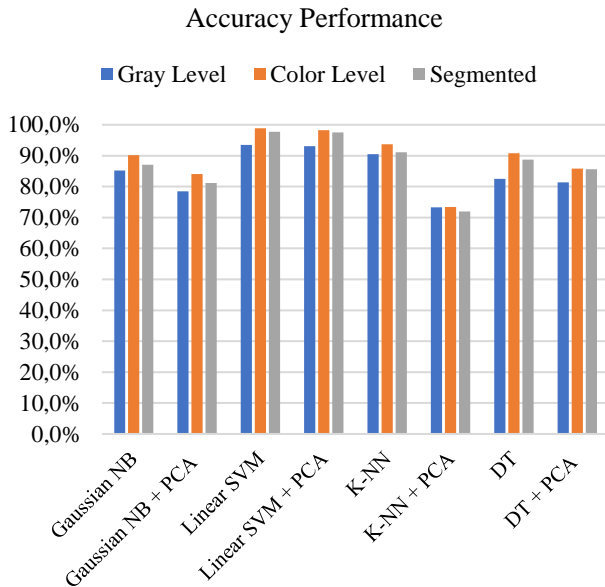


Figure 4. Comparing classifier performances

Conclusion

In this study, DarkNET-19 pre-trained CNN model has been utilized as feature extractor. The utilized data consists of 2475 images of pepper leaves (1478 healthy and 997 bacterial disease). The dataset consists of gray-level, color-level and segmented images of the same leaf data. The features have been acquired from the last fully connected layer of the CNN model. There are four different classifiers utilized as final layer instead of the softmax classifier. The features have been classified with enabling PCA and disabling PCA. It has been determined that the best classifying accuracy was realized with Linear SVM classifier as 98,8% on the features acquired from the color-level images. The highest performance has been observed with linear SVM for all three case (gray, color and segmented). The remaining classifiers have also demonstrated promising performance. It should be noted that there are no optimization or performance enhancing like feature selection, transfer learning or feature fusion. The computer-assisted systems are very useful to identify the class of an object. We have proposed a simple and effective approach to identify the bacterial disease on the pepper leaves. In future, we plan to apply transfer learning and future fusion to enhance and accelerate the existing methods.

Acknowledgements

We thank Akdeniz and Bandırma 17 Eylül Universities for the basic infrastructure that allowed the development of the study.

References

- [1] S.S. Abu-Naser, K.A. Kashkash and M. Fayyad, "Developing an Expert System for Plant Disease Diagnosis," *Journal of Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 2, pp. 78-85, 2008.
- [2] K. Gowthami, M. Pratyusha and B. Somasekhar, "Detection of diseases in different plants using digital image processing," *International Journal of Scientific Research in Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 18-23, 2017.
- [3] M.A. Ebrahimi, M.H. Khoshtaghaza, S. Minaei and B. Jamshidi, "Vision-based pest detection based on SVM classification method," *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, pp. 52-58, 2017.
- [4] N. Guettari, A.S. Capelle-Laizé and P. CarréBlind, "Image steg analysis based on evidential k-nearest neighbors," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 2742-2746, 2016.
- [5] F. Jobin, D. Anto and K. Anoop, "Identification of leaf diseases in pepper plants using soft computing techniques," pp. 168-173, 2016.
- [6] S. H. Lee, C. S. Chan, S. J. Mayo and P. Remagnino, "How deep learning extracts and learns leaf features for plant classification," *Pattern Recognition*, 71, pp. 1-13, 2017.
- [7] K. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, pp. 311-318, 2018.
- [8] M. Islam, A. Dinh, K. Wahid and P. Bhowmik, "Detection of potato diseases using image segmentation and multiclass support vector machine," *IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pp. 1-4, 2017.
- [9] Y.C. Zhang, H.P. Mao, B. Hu and M.X. Li, "Features selection of cotton disease leaves image based on fuzzy feature selection techniques," *IEEE proceedings of the 2007 international conference on wavelet analysis and pattern recognition*, 2007.
- [10] S.R. Dubey and A.S. Jalal, "Detection and classification of apple fruit diseases using complete local binary patterns," *IEEE 2012 third international conference on computer and communication technology*, 2012.
- [11] G. Owomugisha and E. Mwebaze, "Machine learning for plant disease incidence and severity measurements from leaf images," *15th IEEE international conference on machine learning and applications*, 2015.
- [12] A. Meunkaewjinda, P. Kumsawat, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew, "Grape leaf disease detection from color imagery using hybrid intelligent system," *IEEE 5th Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics. Computer, Telecom. and Inf. Technology*, 2008.
- [13] M. R. Naik and C.M.R. Sivappagari, "Plant leaf and disease detection by using HSV features and SVM classifier," *International journal of engineering science and computing*, vol. 6, no. 12, pp. 3794-3797, 2016.
- [14] B. Liu, Y. Zhang, D. He and Y. Li, "Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional

- Neural Networks,” *Symmetry*, vol. 10, no. 1, pp. 11, 2017.
- [15] C. DeChant, T. Wiesner-Hanks, S. Chen, E. L. Stewart, J. Yosinski, M. A. Gore and R.J. Nelson, H. Lipson, “Automated Identification of Northern LeafBlight-Infected Maize Plants from Field Imagery Using Deep Learning,” *Phytopathology*, vol. 107, no. 11, pp. 1426–1432, 2017.
- [16] J. Ma, K. Du, F. Zheng, L. Zhang, Z. Gong and Z. Sun, “A recognition method for cucumber diseases using leaf symptom images based on deep convolutional neural network,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 154, no. 09, pp. 18–24, 2018.
- [17] Y. Lu, S. Yi, N. Zeng, Y. Liu and Y. Zhang, “Identification of rice diseases using deep convolutional neural networks,” *Neurocomputing*, 267, pp. 378–384, 2017.
- [18] S. Sladojevic, M. Arsenovic, A. Anderla, D. Culibrk and D. Stefanovic, “Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016.
- [19] M.H. Saleem, J. Potgieter and K. M. Arif “Plant Disease Detection and Classification by Deep Learning,” *Plants*, vol. 8, no. 11, pp. 468, 2019.
- [20] E. Dönmez and P. V. Zadeh “A modified graph based approach for leaf segmentation with GPGPU support,” *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1797-1800, 2015.
- [21] E. Dönmez and A. F. Kocamaz, “A Hog & Graph Based Human Segmentation from Video Sequences,” *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, pp. 1-5, 2018.
- [22] E. Dönmez, “Discrimination of Haploid and Diploid Maize Seeds Based on Deep Features,” *28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1-4, 2020.
- [23] E. Dönmez, “Classification of Haploid and Diploid Maize Seeds based on Pre-Trained Convolutional Neural Networks,” *Celal Bayar University Journal of Science*, vol. 16, no. 3, pp. 323-331, 2020.



Konuşmalardaki duygunun evrimsel LSTM modeli ile tespiti

Convolutional LSTM model for speech emotion recognition

Ömer Faruk Öztürk^{1*}, Elham Pashaei²

¹ İstanbul Gelişim Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 170403057@ogr.gelisim.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-3152>

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, epashaei@gelisim.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7401-4964>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 5 Temmuz 2021
Revizyon 7 Eylül 2021
Kabul 18 Eylül 2021
Online 28 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

*Konuşmada Duygu Tanıma (SER),
Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM),
Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN),
Evrimsel Sinir Ağı (CNN),
RAVDESS veri seti
MFCC öznitelikleri*

ÖZ

Konuşmada duygu tanıma İngilizce adıyla Speech emotion recognition (SER), duyguların konuşma sinyalleri aracılığıyla tanınması işlemidir. İnsanlar, iletişiminin doğal bir parçası olarak bu işlemi verimli bir şekilde yerine getirebilse de programlanabilir cihazlar kullanarak duygu tanıma işlemi hali hazırda devam eden bir çalışma alanıdır. Makinelerin de duyguları algılaması, onların insan gibi görünmesini ve davranmasını sağlayacağından dolayı, konuşmada duygu tanıma, insan-bilgisayar etkileşiminin gelişmesinde önemli bir rol oynar. Geçtiğimiz on yıl içerisinde çeşitli SER teknikleri geliştirilmiştir, ancak sorun henüz tam olarak çözülmüştür. Bu makale, Evrimsel Sinir Ağı (Convolutional neural networks -CNN) ve Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory-LSTM) olmak üzere iki derin öğrenme mimarisinin birleşimine dayanan bir konuşmada duygu tanıma tekniği önermektedir. CNN lokal öznitelik seçiminde etkinliğini gösterirken, LSTM büyük metinlerin sıralı işlenmesinde büyük başarı göstermiştir. Önerilen Evrimsel LSTM (Convolutional LSTM – Co-LSTM) yaklaşımı, insan-makine iletişiminde etkili bir otomatik duygu algılama yöntemi oluşturmayı amaçlamaktadır. İlk olarak, Mel Frekanslı Kepstrum Katsayıları (Mel Frequency Cepstral Coefficient- MFCC) kullanılarak önerilen yöntemde konuşma sinyalinden bir görüntüsel öznitelikler matrisi çıkarılır ve ardından bu matris bir boyuta indirgenir. Sonrasında modelin eğitimi için öznitelik seçme ve sınıflandırma yöntemi olarak Co-LSTM kullanılır. Deneysel analizler, konuşmanın sekiz duygusunun tamamının RAVDESS (Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song) ve TESS (Toronto Emotional Speech Set) veri tabanlarından sınıflandırılması üzerine yapılmıştır. MFCC Spektrogram öznitelikleri kullanılarak Co-LSTM ile %86,7 doğruluk oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalar ve diğer iyi bilinen sınıflandırıcılarla karşılaştırıldığında önerilen algoritmanın etkinliğini ikna edici bir şekilde kanıtlamaktadır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 July 2021
Received in revised form 7 September 2021
Accepted 18 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

*Speech Emotion Recognition (SER),
Long Short-Term Memory (LSTM),
Recurrent Neural Network (RNN),
Convolutional Neural Network (CNN),
RAVDESS dataset, MFCC features*

Doi: 10.24012/dumf.1001914

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Speech emotion recognition (SER) is the task of recognizing emotions from speech signals. While people are capable of performing this task efficiently as a natural aspect of speech communication, it is still a work in progress to automate it using programmable devices. Speech emotion recognition plays an important role in the development of human-computer interaction since adding emotions to machines makes them appear and act in a human-like manner. Various SER techniques have been developed over the last few decades, but the problem has not yet been completely solved. This paper proposes a speech emotion recognition technique based on the hybrid of two deep learning architectures namely Convolutional Neural Network (CNN) and Long Short Term Memory (LSTM). Deep CNN has demonstrated its effectiveness in local feature selection, whereas LSTM has shown great success in the sequential processing of large texts. The proposed Convolutional LSTM (Co-LSTM) approach aims to create an efficient automatic method of emotion detection in human-machine communication. In the suggested method, Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) is used to extract a matrix of spectral features from the speech signal and afterward is converted to 1-dimensional (1D) array. Then, Co-LSTM is employed as a feature selection and classification method to learn the model for emotion recognition. The experimental analyses were carried out on the classification of all the eight emotions of the speech from RAVDESS (Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song) and TESS (Toronto Emotional Speech Set) databases. An accuracy of 86.7% was achieved with Co-LSTM using MFCC Spectrogram features. The obtained results convincingly prove the effectiveness of the proposed algorithm when compared to the previous works and other well-known classifiers.

Giriş

Birleşmiş Milletler'in bir raporuna göre [1], artan insan nüfusu ile birlikte önümüzdeki beş yıl içerisinde insanlar, çevresindeki bireylerden ziyade sesli asistanlar etkileşime girecek. Günlük etkileşimlerimizde Aple Siri, Cortana, Amazon Alexa ve Google Asistan gibi Sanal Kişisel Asistanların (Virtual Personal Assistants- VPA) yaygınlaşmasıyla, sorularımızı yanıtlama ve taleplerimizi hızlı ve doğru bir şekilde yerine getirme rolünü üstleniyorlar. Bu asistanlar komutlarımızı anlasalar da ruh halimizi tanıma ve buna göre tepki verme konusunda yeterince yetkin değiller. Bu nedenle, bu asistanların yeteneklerini artırabilecek ve tüm endüstride devrim yaratabilecek verimli bir duygu tanıma sistemi geliştirmek önemlidir [2]. Ayrıca duygu tanıma sistemlerinin eğitim [3], sağlık [4][5], güvenlik [6] gibi birçok alanda farklı amaçlarla kullanılabilmesi bu konuda yapılan çalışmaların sayısında önemli bir artışa neden olmuştur [7].

Duygu kelimesi canlıların bir olaya veya nesneye verdiği tepki olarak değerlendirilebilir. Duyguların makineler yardımı ile tespit edilmesini duygu analizi başlığı altında toplamak mümkündür. Duygu analizi metin [8], ses [9], video [10], konuşma [11], Yüz ifade [12] ve beyin sinyal (ElektroEnsefaloGrafı- EEG) [13] verileri üzerinde yapılabilmektedir. Çalışmanın da ana konusu olan ses verilerinden duygu analizi en basit haliyle, alınan sinyallerin bir ön işleme işleminden geçirilmesi, bu sinyallerin bazı öznitelik çıkarım metodları ile özniteliklerin elde edilmesi, çıkarılan özniteliklerin makine öğrenmesi [14] veyahut derin öğrenme [15][16] algoritmaları ile modellenmesi ve ardından bu model ile ses dosyalarının analizi şeklinde özetlenebilir.

Sinyalden çıkarılan öznitelikler dört farklı kategoride gruplandırılabilir ve bu kategoriler akustik, dilsel, bağlamsal bilgi ve farklı öznitelik kümelerinin birleşiminden elde edilen hibrit öznitelikler olarak gruplandırılır. Akustik öznitelikler perde, formant frekansları, enerji, entropy, sıfır geçiş oranı (zero crossing rate), Mel frekansı kepsrum katsayısı (Mel Frequency Cepstral Coefficient- MFCC) [17], doğrusal tahmin katsayıları (Linear Prediction Coefficients- LPC), güç spektral yoğunluğu (Power Spectral Density- PSD), Chroma gibi çeşitli öznitelikler içermektedir [16]. Bu öznitelikler ses verilerinden anlam çıkarmak için kullanılan özniteliklerdir. Bu çalışmada MFCC özniteliği kullanılmıştır.

Bu alanda mevcut olan zorluklardan bahsetmek gerekirse kullanılacak veri seti içerisinde aktarılmak istenen duyguların net ve doğru bir şekilde yansıtıldığı veri setlerinin elde edilmesidir. Bu zorluk göze alınarak araştırmalar için geçerli görülmüş ve günümüzde popüler olan veri setleri the Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS) [18], Toronto Emotional Epeech Set (TESS) [19], a Database of German motional ppeech (EmoDB) [20] gibi hazır veri setleri veyahut bu alan üzerinde araştırmalar yapan insanların kendilerinin oluşturduğu veri setleri günümüzdeki çalışmalarda kullanılabilirlerdir.

Bir başka zorluk da bu veri setlerinin birlikte kullanımını sağlamak. Her veri seti kendine has bir şekilde dosyaları etiketlemekte ve bu veri setlerinden iki veyahut daha fazlasını kullanmak istediğimizde bu veri setlerinin etiketlerini birlikte kullanıma uygun hale getirmek gerekmektedir. Aynı zamanda bir diğer zorluk da hangi duyguların hangi ses öznitelikleri üzerinde etkili olduğunun tespiti yaş ve cinsiyet dahil olmak üzere sesteki bireysel farklılıklardan dolayı zorluk oluşturmaktadır [21].

İlgili Çalışmalar

Ses verilerinden duygu tahmini literatürde önemli bir yer edinmiş bir çalışma alanıdır. Canals'e göre, akıllı hoparlör kurulu sayısı 2020'de 225 milyona ve 2022'de 320 milyona yaklaşacak. Amazon Echo ve Google Home cihazlarının ABD'nin %50'sinden fazlasında bulunduğu düşünülüyor. Juniper Research'e göre ise 2022 yılına kadar hane halkı ve sesli asistanlara yapılan küresel reklam harcamaları aynı yıl 19 milyar dolara ulaşacak [22]. Gün geçtikçe insanların hayatında yer eden yapay zekâ sistemleri ile birlikte sesli asistanlar ve duygu analizi de bu gelişmeler ile birlikte daha da önem kazanmıştır.

Duyguların ses dosyaları ile analizi ile alakalı literatürde bu alanda çok sayıda çalışma yapılmıştır [2], [11], [23][24][25]. Bu çalışmalar neticesinde farklı metodlar ve farklı veri setleri ile birçok sonuç elde edilmiştir. Ses verilerinin de spektrogramlara dönüştüklerinde bir resim dosyasına benzer bir şekilde iki boyutlu matrise dönüşmesi bu verilerin iki boyutlu öğrenme modelleri üzerinde de çalışmalarını sağlamıştır.

Issa ve diğerleri [11], 8 farklı duyguyu içeren RAVDESS veri seti kullanılarak sesin MFCC, Chromagram, Mel, Contrast, Tonnetz gibi öznitelikleir kullanılarak 1 boyutlu Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network-CNN) algoritması eğitimiyle %71,61 doğruluk oranı elde etmişler [11]. Bu özniteliklerin dışında Log-Mel, MFCC, perde ve enerji gibi öznitelikler dikkate alınarak bu özniteliklerin Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory- LSTM), CNN, Gizli Markov Modelleri (Hidden Markov Model- HMM) ve Derin Sinir Ağları (Deep Neural Network- DNN) gibi farklı öğrenme algoritmaları uygulanarak karşılaştırıldığı bir makalede de Log-Mel Spektrogramı öznitelikleri kullanılarak 4 katmanlı 2 boyutlu CNN ile %68 doğruluk elde edilmiştir [2].

CNN'nın mimarilerinden biri olan VGG-16 modeli de bu tarz veri setlerinde kullanılmıştır. Mel spektrogramı ve VGG-16 mimarisi kullanılarak %71 oranında doğruluk elde edilebildiği gözlemlenmiştir [23].

2005 yılında yayımlanan, RAVDESS veriseti gibi içerisinde etiketli ses dosyalarını barındıran başka veri seti olan EmoDB üzerinde Hibrit DNN ve HMM kullanılarak %77,92 oranında bir doğruluk oranı elde edilmiştir [24]. RAVDESS veri seti ses dosyalarının dışında video verileri de içermekte. Bu verilerin hepsinin ses dosyasına dönüştürülmesi ve bunların MFCC özniteliklerinin bir boyutlu CNN ile eğitilmesi sonucu %91 F1 skoru (F1 score) sağlamak mümkündür [25].

Bu çalışmada yapıldığı gibi CNN ve LSTM derin öğrenme algoritmalarının birlikte kullanıldığı örnekler de bulunmaktadır. 2020 yılında yayınlanan ve Berlin EmoDB üzerinde yapılan CNN+LSTM çalışması sonucunda %63 oranında bir doğruluk oranına erişilmiştir [26].

Materyal ve Metot

Veri kümeleri

Veri kümesi olarak konuşma ve şarkı içeren ses dosyaları RAVDESS veri kümesi ve bununla birlikte TESS veri kümesi kullanıldı.

RAVDESS [18] veri kümesi içerisinde 24 seslendirme sanatçısı ve her birine ait 60 konuşma kaydı, 44 şarkı kaydı (23. seslendirme sanatçısının şarkı kaydı bulunmakta) bulunup toplamda 2452 kayıt içermektedir. 12'si kadın, 12'si erkekten oluşan bu seslendirme sanatçıları, Kuzey Amerika aksanı ile İngilizce olan 2 cümleyi seslendirmektedirler. Bu veri seti sakin, mutlu, üzgün, kızgın, korkulu, şaşırılmış ve tiksinişmiş duygu hallerini içinde bulundurur (7 sınıf etiketi).

2452 ses dosyanın her birinin benzersiz bir dosya adı vardır. Her dosya adı kısa çizgi ile ayrılan toplamda 7 kısımdan (ör. 03-01-06-01-02-01-12.wav) oluşur. Bütün kısımların kendine ait farklı anlamları vardır. Bu kısımları soldan sağa biçimde sırasıyla tanımlamak gerekirse;

1. Dosya tipi (01 = Video ve Ses, 02 = yalnızca video, 03 = yalnızca ses)
2. Söyleme Tarzı (01 = konuşma, 02 = şarkı)
3. Duygu (01 = nötr, 02 = sakin, 03 = mutlu, 04 = üzgün, 05 = kızgın, 06 = korkulu, 07 = iğrenmiş, 08 = şaşırılmış)
4. Duygusal yoğunluk (01 = normal, 02 = güçlü)
5. Cümle (01 = "Kids are talking by the door", 02 = "Dogs are sitting by the door")
6. Tekrar (01 = 1. tekrar, 02 = 2. tekrar)
7. Seslendirme Sanatçı (01'den 24'e kadar. Tek numaralılar erkek, çift numaralılar kadın seslendirme sanatçıları)

Modelde kullanılan ikinci veri seti, konuşma tabanlı duygu tanıma alanında araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan Toronto Emotional Speech Set (TESS)'dir [19]. Toplamda 2800 adet ses dosyası içeren TESS, 26 ve 64 yaşlarında iki farklı ses sanatçısının İngilizce konuşmalarından oluşmaktadır. Her iki ses sanatçısı da Toronto bölgesinde yaşayan, ana dili İngilizce olan, üniversite ve müzik eğitimi almış insanlardır. Bu 2800 verinin toplamında 1 saat 36 dakikalık bir veri seti elde ederiz. RAVDESS veri kümesine nazaran 7 adet duygu içermektedir. Bunlar mutlu, üzgün, kızgın, tiksinişmiş, nötr, şaşırılmış ve korkulu olma durumlarını kapsamaktadır. RAVDESS veri kümesinden farklı olarak dosya isimleri anlamlı sayılar ile kodlanmamıştır. Bunun yerine dosya isminde ses sanatçısının cinsiyeti, ses dosyasında verdiği duygular yer almaktadır.

Bu çalışmada iki veri seti birlikte kullanıldığı için ilk iş bu veri setlerini birlikte kullanıma hazır hale getirmektir. Bu işlemi yerine getirdikten sonra kullanılan RAVDESS+TESS veri seti üzerinde birtakım işlemler uygulanarak sesin MFCC öznitelikleri çıkarılmıştır. İlaveten Tablo 1, her duygu için toplam örnek sayısını göstermektedir.

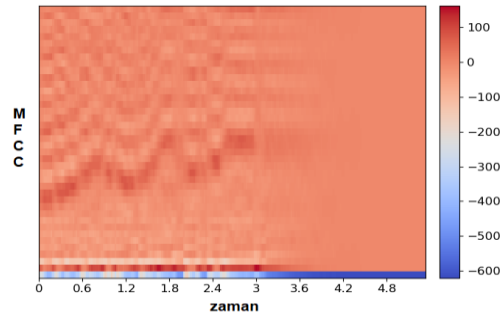
Tablo 1'den, RAVDESS+TESS veri kümesinin dengeli (balanced) olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 1. Toplam numune sayısı [27]

Duygu sınıfı	TESS	RAVDESS	TESS+RAVDESS
Nötr	200	90	290
Sakin	201	185	386
Mutlu	400	185	585
Üzgün	398	185	583
Kızgın	399	186	584
Korkulu	399	186	584
İğrenmiş	399	186	584
Şaşırılmış	400	186	586

Öznitelik Çıkarımı

CNN tabanlı modellere öznitelik çıkarımı yapılmadan verilen sinyallerden elde edilen özniteliklerin modelin performansı üzerinde etkisinin az olduğu gözlemlenmiştir [28]. MFCC, insan işitme algılarına dayanmaktadır. İnsanlar, 1Khz üzerindeki frekansları mevcut duyuları ile lineer olarak algılayamazlar [29]. Buradan yola çıkarak bir ses özelliği olan MFCC, insanların algıladıkları seslerin bir özelliğe dökümünü ortaya koymuştur.



Şekil 1. Bir ses dosyasının MFCC ile görünümü

Bu öznitelikler ile birlikte ses dosyası aynı bir resim dosyası gibi spektrogramlar yardımı ile iki boyutlu bir matrise dönüştürülür. Bu sayede ses makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarına hazır hale getirilir.

MFCC öznitelik çıkarımı istenildiği takdirde bir boyutlu bir veriye de indirgenebilir. Bu indirgeme işlemi hali hazırda iki boyutlu matris olan MFCC'nin dikey olarak değerlerinin ortalamasının alınmasıyla sağlanmaktadır. Bu işlem kullanılan donanım üzerindeki yükü azaltacağı gibi doğruluk oranında da etkisi olacaktır. Bahsedilen yöntem performans faktörü göz önünde bulundurularak, bu çalışmada kullanıldı.

Ayrıca insan konuşması için daha uygun olduğu gerekçesiyle yüksek ve alçak geçiren filtreler MFCC özneliği oluşturulurken 30Khz ve 2700Khz arasındaki veriler dikkate alındı [23]. Bu çalışmanın uygulaması python programlama dili ile yazılmış ve bu işlem için Librosa [30] kütüphanesi kullanılmıştır. Ses verilerinden öznelik çıkarımı esnasında yüksek ve alçak geçiren filtreler uygulanmıştır.

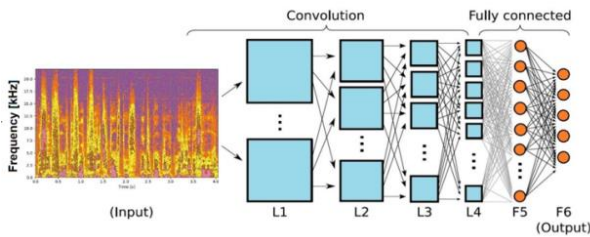
Verilerin eğitim ve test olarak ayrılması

Oluşturulan modelin öğrenmesi için veriler belirli oranlarda bölünür. Bunlardan bir kısmı öğrenmek için ve kalan kısmı da öğrendiklerini test etmek üzerine olur. Bu çalışmada da kullanılan yüzdelik ayırma (Bekletme çapraz doğrulama- Holdout cross validation) [31]–[33] metodu bu amaca hizmet etmektedir. Veriler bu metod yardımıyla yüzde 80 oranında öğrenme verisi, yüzde 20 oranında test verisi olmak üzere X ve Y verileri kendi içerisinde 2 farklı gruba ayrıldı.

Bunu yapmaktaki amaç öğrenme veri setiyle eğittiğimiz veriyi tekrar test etmek için kullanıldığında, modelin başarısının ölçülmesi doğru sonuçlar vermeyecektir. Modelin daha önce karşılaşmadığı bir veri kümesine modele verdiğimiz zaman, modelin öğrenme başarısının ölçümü gerçeğe yakın bir sonuç verecektir.

CNN

Literatürde de görüldüğü gibi çok sayıda çok katmanlı algılayıcı (Multi-Layer Perceptron- MLP)[34], CNN [35], LSTM [36] gibi derin öğrenme algoritmaları veya rastgele orman (Random Forest- RF) [37], karar ağacı (Decision Tree- DT) [38], destek vektör makinesi (Support Vector Machine- SVM) [39][40], k-en yakın komşu (K-nearest Neighbor- KNN)[41] gibi makine öğrenme yöntemleri duygu analizi çalışmalarında kullanılmıştır. CNN en popüler yapay sinir ağı (YSA) tabanlı modellerden biridir. YSA, bir insanın beyinde bulunan bilgiyi işleme şekli göz önüne alınarak geliştirilmiş olan bir tekniktir ve yapay zekâ problemlerini matematik ve istatistikten yardım alarak çözmektedir. Bu çalışmada oluşturulan modelin ilk kısmında indirgenmiş olan tek boyutlu MFCC öznelik vektörü input olarak CNN modele verilmiştir.



Şekil 2. Örnek bir CNN [9]

CNN genel olarak evrişim katmanı, ortaklama katmanı ve tam bağlı katmanı olmak üzere 3 ayrı katmandan oluşmaktadır. Yıllar boyunca yapılan çeşitli araştırma ve uygulamalardan sonra bu alanla ilgilenen insanlar bu modeli farklı veri türleri, farklı veri setleri üzerinde

denedikçe CNN modellerini de genel yapıyı bozmayacak şekilde farklı mimariler oluşturarak iyileştirmeye çalıştılar. Bunun üzerine LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet gibi birçok mimari literatüre kazandırılmış oldu.

LSTM

LSTM, derin öğrenme alanında kullanılan bir tekrarlayan sinir ağı (Recurrent Neural Network- RNN) mimarisidir. RNN mimarilerinde bulunan ve diğer mimarilere göre farklı olduğu en temel konu hatırlayabilmesidir. Bir sonraki adım için verilen girdiler arasında bir ilişki ararlar ve bu girdiler içerisinde buldukları ilişkileri hatırlarlar. Kendi içinde bulunan yenilemeli yapısı ve sonucu bir sonraki girdiye aktarması sayesinde tekrarlayan sinir ağı mimarilerinde hatırlama denilen olay yapay sinir ağı çerçevesinde gerçekleşir [42].

Bir RNN mimarisi olan LSTM, bu mimarilerdeki sorunlardan biri olan Kaybolan Gradyan İnişi (Vanishing Gradient Descent) problemini çözmeyi amaçlamıştır. Vanishing Gradient Descent problemi, normalde büyük farklılıklar bulunan girdilerin aktivasyon fonksiyonları sonrasında ufak değer aralıklarına indirgenmesiyle, bunların gittikçe sifira yaklaşması ve model tarafından algılanamaması, dolayısıyla da iyi bir öğrenilememesine sebep olur. LSTM bu problemi yapısında bulundurduğu hücre durumu ve unutmaya, girdi, çıktı kapıları ile çözmektedir. Bu nedenle, LSTM modelleri iyi performans gösteriyorlar.

Önerilen Co-LSTM

Evrişimsel LSTM (Convolutional LSTM- Co-LSTM) [43] modeli iki önemli derin öğrenme mimarisi olan LSTM ve CNN birleşiminden meydana gelmiş bir mimaridir. CNN ile detaylıca çıkarılan özneliklerin, LSTM algoritmasının veriyi ilişkilendirme ve hatırlama/unutmaya mekanizmasıyla birleşmesi bu mimaride önemli rol oynamaktadır. Co-LSTM [43], sosyal medyada bulunan büyük veriden duygu analizi yapmayı amaçlayan metin verilerinde, sıkça kullanılan Naive Bayes (NB) algoritmasına göre çok daha iyi bir doğruluk oranı yakalamıştır. Bu çalışmada, konuşma duygu tanıma için önerilen Co-LSTM'nin performansı incelenmiştir. Önerilen yöntemin adımları ve yapısı şekil 3 ve şekil 4'te sırasıyla gösterilmiştir.

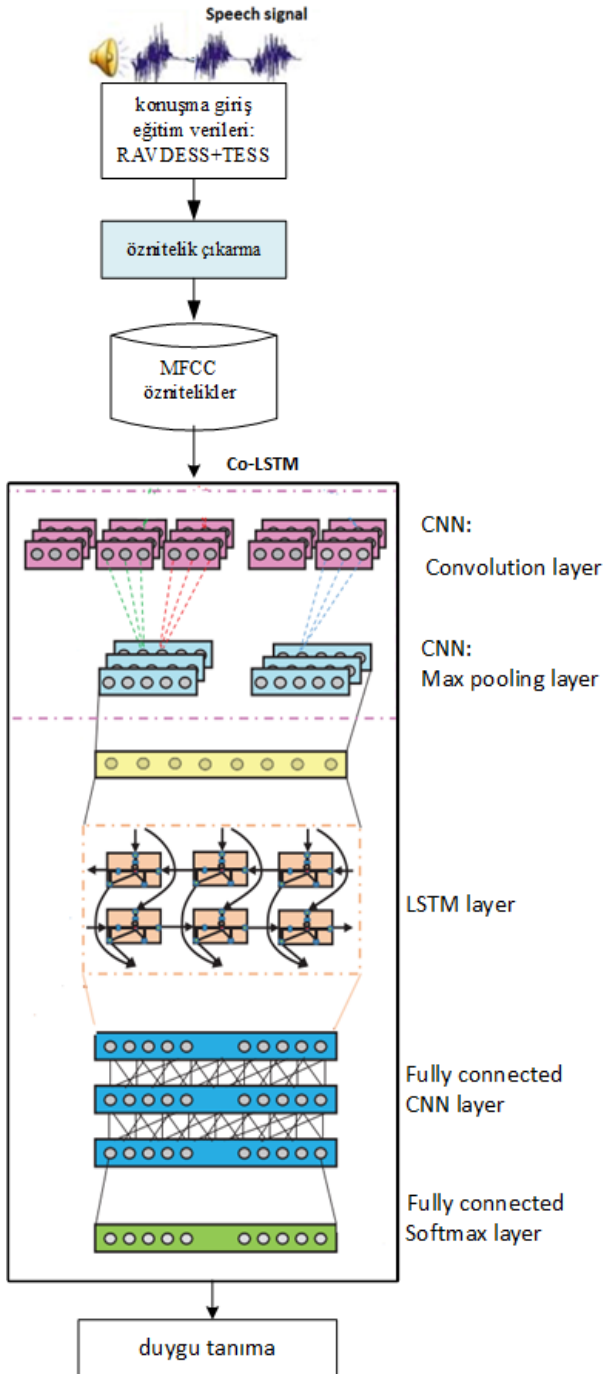
Araştırma Sonuçları ve Tartışım

Gerçekleştirim

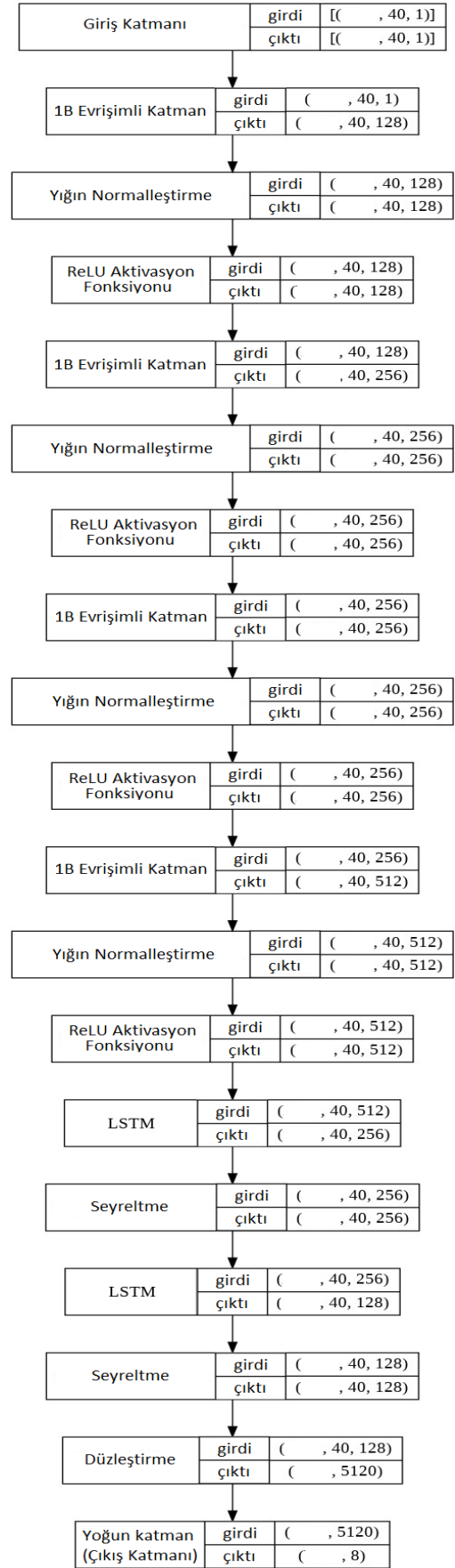
Bu çalışmada MFCC ses özneliği kullanılmıştır. MFCC ses özneliğinin sayısı hem kullanılan donanım nedeniyle hem de literatürde sıkça bu değer kullanıldığından dolayı 40 olarak belirlenmiştir. Oluşturmayı planladığımız yapıda kullanılan evrişimli katmanların (Convolution layers) performans ve başarımlarından düşünülerek 1 boyutlu olması gerektiğine karar verildi. Bu yapının en başında yer alan bir boyutlu CNN (1 Dimensional CNN- 1D CNN) içerisinde her biri sırasıyla 128, 256, 256 ve 512 filtreden ayrıca çekirdek boyutu (kernel size) 3 olan dört evrişimli katman kullanılmıştır. Evrişimli katmana ek olarak Doğrultulmuş Lineer Birim (Rectified Linear Unit- ReLU)

aktivasyon fonksiyonu uygulanmış ve ardından bu katmana yığılma normalleştirme işleminden geçirilmiştir.

Bu işlemler bahsi geçen dört katmana da uygulanmıştır Ortaklama katmanlarının (pooling layers), öznelik sayımızın 40 olması ve ortaklama katmanları kullanılarak bu sayının çok küçük sayılara inmesi bunun sonucunda da başarının düşmesi nedeniyle bu modelde kullanılmamasına kanaat getirilmiştir. CNN'ni tanımladıktan sonra yapıya LSTM algoritması da dahil edildi. LSTM algoritması oluşturulan bu yapıda 2 katmandan oluşmakta.



Şekil 3. Önerilen duygu tanıma modelinde derin öğrenme adımlarının şematik diyagramı ([44]'den uyarlandı)



Şekil 4. Bu çalışmada oluşturulan Co-LSTM yapısı

Bu iki katman da içerisinde 256 birim barındırmaktadır. Ve her bir LSTM katmanının ardından 0,1 oranında bir seyreltme (dropout) katmanı eklenmiştir. Verimizi düzleştirme (flatten) işleminden sonra elde edilen vektörü sadece çıktı katmanı olarak sınıflandırma yapılması için veri setinin duyularının sayısı olan 8 birimlik bir tam bağlantılı katman (Fully Connected Layer) kullanılmıştır. Bu tam bağlantılı katman çıkış katmanı olduğu için Softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Optimizasyon algoritması olarak 2019 yılında yayınlanan ve diğer optimizasyon algoritmalarına nazaran statik öğrenme oranı (learning rate) almayan, Adam optimizasyon algoritması kadar hızlı ve Olasılıksal Dereceli Azalma (Stochastic Gradient Descent- SGD) kadar iyi bir optimizasyon algoritması olduğunu iddia eden AdaBound [45] optimizasyon algoritması kullanıldı. AdaBound tek bir öğrenme oranı almak yerine iki adet öğrenme oranı olarak mevcut yapıya bu iki oran arasında bir optimizasyon uygular.

Co-LSTM'yi eğitmek için belirli bir numune sayısı (batch size) seçilmemiştir, mevcut olan varsayılan (default value) ile eğitim tamamlanmıştır. Ayrıca model için 50 tur (epoch) sayısı belirlenmiştir. Bunun nedenini 50. tur sonrasında kayıp fonksiyonumuzdaki artış doğruluk oranımızdaki sabitlik olarak açıklanabilir. Ayrıca, sinir ağlarını optimize etmek için seyrek kategorik çapraz entropi (sparse categorical cross entropy) bir kayıp fonksiyon (loss function) olarak tercih edilmiştir. Son olarak MFCC ile özneliklerine ayırdığımız verileri ve bunların etiketi olan 8 ayrı duyuya göre bir model oluşturulmak istenmiştir.

Oluşturulan modelin başarısını ölçmek için kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1 skoru ve doğruluk oranı (accuracy score) [46][47] gibi değerlendirme parametrelerine bakılmaktadır. Co-LSTM modelin uygulamaları python derin öğrenme kütüphanesi Keras ile yapılmıştır. Ayrıca, bir python kütüphanesi olan Sklearn, makine öğrenme modelleri geliştirmek ve değerlendirme parametrelerinin hesaplanmak için kullanılmıştır.

Derin bir mimari için öğrenme oranı, dropout, katman sayısı vb. gibi hiperparametrelerin seçilmesi çok önemlidir. Hiperparametre optimizasyonunun amacı, derin ağı performansı bağımsız bir veri setinde iyileştirmektir [16]. Deneylerimizde, hiperparametreleri optimize etmek için önerilen Co-LSTM'de rastgele arama (random search) metodu uygulanmıştır [48].

Performans değerlendirme ve karşılaştırma

Bu çalışmada çeşitli öğrenme algoritmaları deneyerek mevcut ses veri setinin MFCC ile öznelikleri çıkarılıp, 8 farklı sınıflandırıcıda test edilerek çeşitli sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar Tablo 2 de gösterilmektedir. Bu tabloda var olan tüm öğrenme algoritmalarına ızgara arama tabanlı parametre iyileştirme işlemleri uygulanarak (grid search based-hyperparameter tuning) alınabilecek en yüksek doğruluk oranları alınmaya çalışıldı. 40 adet öznelik içeren çok kısıtlı bir öznelik kümemiz olmasına rağmen tüm sınıflandırıcıların %60 değeri üzerinde değerler doğruluk oranları aldığı gözlemlenmiştir. Buradan

yola çıkarak birleştirmiş olduğumuz iki veri kümesinin birbiriyle uyumlu olduğu söylenebilir. Bu tablodaki değerlendirme parametrelerine bakıldığı zaman en başarılı sonucun %86,7 ile Co-LSTM derin öğrenme algoritmasında olduğu gözükmektedir. Bu ise bize Co-LSTM öğrenme algoritmasının metin verilerinde olduğu kadar ses verilerinde de duygu tahmini için başarılı olduğu varsayımına ulaştırabilir. Co-LSTM algoritmasının ardından gelen algoritmaya baktığımızda SVM geldiği görülmektedir. SVM parametre iyileştirme işlemi sırasında parametrelere göre verdiği doğruluk oranları göz önünde bulundurulduğunda bu algoritmanın mevcut veri seti için çekirdeğin Radyal Temelli Fonksiyon (Radial basis function- RBF) olduğu, marjının dar olduğu ve dağılım genişliğinin geniş olduğu durumlarda doğruluk oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Literatürdeki benzer çalışmalar ile önerilen yöntemin öznelikleri ve doğruluk oranları Tablo 3 de gösterilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar göz önüne alındığında oluşturulan modelin kısıtlı bir öznelik kümesi ile herhangi bir öznelik seçim algoritmasına tabii olmadan bu sonucu elde etmiş olması modelin bu veri seti için uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Modellerin, RAVDESS+TESS veri setinde MFCC özneliği kullanılarak elde ettikleri değerlendirme parametreleri

Model	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Skoru	Doğruluk Oranı
DT	0.6232	0.6232	0.6233	0.6233
MLP	0.7589	0.7145	0.7150	0.7117
KNN	0.8125	0.8106	0.8100	0.8106
RF	0.8473	0.8372	0.8384	0.8372
SVM	0.8566	0.8553	0.8555	0.8553
LSTM	0.7859	0.7792	0.7802	0.7792
1 D CNN	0.8200	0.8192	0.8187	0.8192
önerilen Co-LSTM	0.8698	0.8677	0.8682	0.8677

DeneySEL sonuçlar, önerilen yöntemimizin altı son teknoloji yaklaşımının beşinden daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde ettiğini göstermektedir. Önerilen Co-LSTM yönteminin doğruluğu Ref. [19] tekniğinden biraz daha düşük olmasına rağmen, Co-LSTM daha basittir ve Ref. [19]'dan daha düşük zaman karmaşıklığına sahiptir. Bunun nedeni, Ref. [19] modelinin yapısında çeşitli özellik çıkarma yöntemlerini ve parçacık sürüsü optimizasyonu (Particle swarm Optimization -PSO) stratejisini kullanmasıdır.

Tablo 3. Co-LSTM ve son teknoloji yöntemler (state-of-art methods) arasındaki karşılaştırmanın sonuçları

Çalışma	Veri Seti	Öznitelik	Metod	Doğruluk Oranı
Aldeneh ve Provost (2017) [49]	RAVDESS	Mel Spektrogramı	CNN (VGG-16)	0.7100
Darekar ve Dhande (2018) [50]	RAVDESS	MFCC, NMF, Pitch	ANN & PSO-FF	0.8870
Bhavan ve diğerleri (2019) [51]	RAVDESS	MFCC	Bagged ensemble of SVM	0.7569
Mekruksavanich ve diğerleri (2020) [52]	RAVDESS TESS	MFCC	DCNN	0.7583 0.5571
Keesing ve diğerleri (2020) [53]	TESS	Mel Spektrogramı	CNN (2D)	0.5510
Tangriberganov ve diğerleri (2020) [26]	EmoDB	-	Co-LSTM	0.6370
Mustaqeem ve Kwon (2020) [35]	RAVDESS	Üst düzey özellikler	Deep stride CNN (DSCNN)	0.81
Singh ve diğerleri (2021)[54]	RAVDESS	MFCC	CNN (1D)	0.8293
Önerilen Co-LSTM	RAVDESS+TESS	MFCC	Co-LSTM	<u>0.8677</u>

Sonuç

Duygu Analiz sistemleri canlıların seslerinden, yüz ifadelerinden veya yazdıkları üzerinden duygularının analizi ve tahminlenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmadaki konu olan ses verilerinden duygu analizi işlemini gerçekleştirebilmek için bu seslerden çeşitli özniteliklerin çıkarılması ve bunlardan sistem için anlamlı olanlarının sisteme dahil edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Adabound optimizasyon fonksiyonun, CNN ile LSTM birlikte çalışmasının bir ürünü olan Co-LSTM mimarisinin ses verileri üzerinde duygu analizi için ortaya

çıkardığı sonuçları gözlemlendi. Co-LSTM yöntemiyle birlikte diğer çalışmalarda LSTM, CNN ve diğer mimarilerle alınan doğruluk oranlarına kıyasla daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlendi.

Yapılan bu çalışmanın bir sonraki aşamasında hayvanlardan alınan veriler üzerine duygularının gerçek zamanlı olarak sınıflandırılması hedeflenmektedir. Gelecek çalışmalarda aynı zamanda ses dosyalarının yanı sıra o canlının görüntüsü veya video kesitleriyle birlikte hazırlanmış olduğumuz Co-LSTM modelinden gelen ses tahmininin diğer görsel etkenler ile kıyaslanması ve ortak bir tahminleme yapılması planlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] “United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. (2019). I’d blush if I could: closing gender divides in digital skills through education,” 2), (Programme Document GEN/2019/EQUALS/1 REV. [Online]. Available: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002170/217073e.pdf>.
- [2] K. Venkataraman and H. R. Rajamohan, “Emotion Recognition from Speech,” *SpringerBriefs Speech Technol.*, pp. 31–32, Dec. 2019.
- [3] L. B. Krithika and G. G. Lakshmi Priya, “Student Emotion Recognition System (SERS) for e-learning Improvement Based on Learner Concentration Metric,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 85, pp. 767–776, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.PROCS.2016.05.264.
- [4] A. E. Wells, L. M. Hunnikin, D. P. Ash, and S. H. M. van Goozen, “Improving emotion recognition is associated with subsequent mental health and well-being in children with severe behavioural problems,” *Eur. Child Adolesc. Psychiatry* 2020, vol. 1, pp. 1–9, Sep. 2020, doi: 10.1007/S00787-020-01652-Y.
- [5] J. R. I. Coleman, K. J. Lester, R. Keers, M. R. Munafò, G. Breen, and T. C. Eley, “Genome-wide association study of facial emotion recognition in children and association with polygenic risk for mental health disorders,” *Am. J. Med. Genet. Part B Neuropsychiatr. Genet.*, vol. 174, no. 7, pp. 701–711, Oct. 2017, doi: 10.1002/AJMG.B.32558.
- [6] M. Bebawy, S. Anwar, and M. Milanova, “Active Shape Model vs. Deep Learning for Facial Emotion Recognition in Security,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10183 LNAI, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-59259-6_1.
- [7] H. Aouani and Y. Ben Ayed, “Speech Emotion Recognition with deep learning,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 176, pp. 251–260, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROCS.2020.08.027.
- [8] B. Kratzwald, S. Ilić, M. Kraus, S. Feuerriegel, and H. Prendinger, “Deep learning for affective computing:

- Text-based emotion recognition in decision support,” *Decis. Support Syst.*, vol. 115, pp. 24–35, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.DSS.2018.09.002.
- [9] E. Frant, I. Ispas, V. Dragomir, M. Dascalu, E. Zoltan, and I. C. Stoica, “Voice Based Emotion Recognition with Convolutional Neural Networks for Companion Robots,” *Rom. J. Inf. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 3, pp. 222–240, 2017.
- [10] V. Sreenivas, V. Namdeo, and E. V. Kumar, “Group based emotion recognition from video sequence with hybrid optimization based recurrent fuzzy neural network,” *J. Big Data 2020 71*, vol. 7, no. 1, pp. 1–21, Aug. 2020, doi: 10.1186/S40537-020-00326-5.
- [11] D. Issa, M. Fatih Demirci, and A. Yazici, “Speech emotion recognition with deep convolutional neural networks,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 59, p. 101894, May 2020, doi: 10.1016/j.bspc.2020.101894.
- [12] M. A. Ozdemir, B. Elagoz, A. Alaybeyoglu, R. Sadighzadeh, and A. Akan, “Real time emotion recognition from facial expressions using CNN architecture,” *TIPTEKNO 2019 - Tip Teknol. Kongresi*, Oct. 2019, doi: 10.1109/TIPTEKNO.2019.8895215.
- [13] M. A. Ozdemir, M. Degirmenci, E. Izcı, and A. Akan, “EEG-based emotion recognition with deep convolutional neural networks,” *Biomed. Tech. (Berl.)*, vol. 66, no. 1, pp. 43–57, Feb. 2020, doi: 10.1515/BMT-2019-0306.
- [14] L. Kerkeni, Y. Serrestou, M. Mbarki, K. Raoof, M. A. Mahjoub, and C. Cleder, “Automatic Speech Emotion Recognition Using Machine Learning,” *Soc. Media Mach. Learn.*, Mar. 2019, doi: 10.5772/INTECHOPEN.84856.
- [15] A. Saxena, A. Khanna, and D. Gupta, “Emotion Recognition and Detection Methods: A Comprehensive Survey,” *J. Artif. Intell. Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 53–79, Feb. 2020, doi: 10.33969/AIS.2020.21005.
- [16] J. Zhao, X. Mao, and L. Chen, “Speech emotion recognition using deep 1D & 2D CNN LSTM networks,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 47, pp. 312–323, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.BSPC.2018.08.035.
- [17] N. A. Zaidan and M. S. Salam, “MFCC Global Features Selection in Improving Speech Emotion Recognition Rate,” *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 387, pp. 141–153, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-32213-1_13.
- [18] S. R. Livingstone and F. A. Russo, “The ryerson audio-visual database of emotional speech and song (ravdess): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in north American english,” *PLoS One*, vol. 13, no. 5, p. e0196391, May 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0196391.
- [19] M. K. Pichora-Fuller and K. Dupuis, “Toronto emotional speech set (TESS).” Scholars Portal Dataverse, 2020, doi: doi/10.5683/SP2/E8H2MF.
- [20] F. Burkhardt, A. Paeschke, M. Rolfes, W. Sendlmeier, and B. Weiss, “A database of German emotional speech,” in *INTERSPEECH 2005 - Eurospeech, 9th European Conference on Speech Communication and Technology*, 2005.
- [21] B. Zupan, D. Neumann, D. R. Babbage, and B. Willer, “The importance of vocal affect to bimodal processing of emotion: Implications for individuals with traumatic brain injury,” *Journal of Communication Disorders*, vol. 42, no. 1, pp. 1–17, Jan-2009, doi: 10.1016/j.jcomdis.2008.06.001.
- [22] “Voice-enabled smart speakers to reach 55% of U.S. households by 2022, says report | TechCrunch.” [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2017/11/08/voice-enabled-smart-speakers-to-reach-55-of-u-s-households-by-2022-says-report/>. [Accessed: 05-Sep-2021].
- [23] A. S. Popova, A. G. Rassadin, and A. A. Ponomarenko, “Emotion Recognition in Sound,” in *Studies in Computational Intelligence*, 2018, vol. 736, pp. 117–124, doi: 10.1007/978-3-319-66604-4_18.
- [24] L. Li *et al.*, “Hybrid Deep Neural Network - Hidden Markov Model (DNN-HMM) based speech emotion recognition,” in *Proceedings - 2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII 2013*, 2013, pp. 312–317, doi: 10.1109/ACII.2013.58.
- [25] M. G. De Pinto, M. Polignano, P. Lops, and G. Semeraro, “Emotions Understanding Model from Spoken Language using Deep Neural Networks and Mel-Frequency Cepstral Coefficients,” in *IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems*, 2020, vol. 2020-May, doi: 10.1109/EAIS48028.2020.9122698.
- [26] G. Tangriberganov, T. Adesuyi, and B. M. Kim, “(PDF) A Hybrid approach for speech emotion recognition using 1D-CNN LSTM,” in *Korea Computer Congress (KCC 2020)*, 2020.
- [27] G. Agarwal and H. Om, “Performance of deer hunting optimization based deep learning algorithm for speech emotion recognition,” *Multimed. Tools Appl. 2020 807*, vol. 80, no. 7, pp. 9961–9992, Nov. 2020, doi: 10.1007/S11042-020-10118-X.
- [28] R. Sarkar, S. Choudhury, S. Dutta, A. Roy, and S. K. Saha, “Recognition of emotion in music based on deep convolutional neural network,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, no. 1–2, pp. 765–783, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11042-019-08192-x.
- [29] E. Yucesoy and V. V. Nabyev, “Gender identification of a speaker using MFCC and GMM,” in *ELECO 2013 - 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 2013, pp. 626–629, doi: 10.1109/eleco.2013.6713922.
- [30] B. McFee *et al.*, “librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python,” in *Proceedings of the 14th Python in Science Conference*, 2015, pp. 18–24, doi: 10.25080/majora-7b98e3ed-003.
- [31] E. Pashaei, M. Ozen, and N. Aydin, “Splice sites prediction of human genome using AdaBoost,” in *3rd IEEE EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, BHI 2016*, 2016, doi: 10.1109/BHI.2016.7455894.
- [32] E. Pashaei, M. Ozen, and N. Aydin, “Random Forest in Splice Site Prediction of Human Genome,” in *XIV*

- Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016*, 2016, vol. 57, pp. 518–523, doi: 10.1007/978-3-319-32703-7_99.
- [33] E. Pashaei and E. Pashaei, “Gene Selection using Intelligent Dynamic Genetic Algorithm and Random Forest,” in *2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2019, pp. 470–474, doi: 10.23919/ELECO47770.2019.8990557.
- [34] H. K. Palo, M. Chandra, and M. N. Mohanty, “Emotion recognition using MLP and GMM for Oriya language,” *Int. J. Comput. Vis. Robot.*, vol. 7, no. 4, pp. 426–442, 2017, doi: 10.1504/IJCVR.2017.084987.
- [35] Mustaqeem and S. Kwon, “A CNN-Assisted Enhanced Audio Signal Processing for Speech Emotion Recognition,” *Sensors 2020, Vol. 20, Page 183*, vol. 20, no. 1, p. 183, Dec. 2019, doi: 10.3390/S20010183.
- [36] F. Tao and G. Liu, “Advanced LSTM: A Study about Better Time Dependency Modeling in Emotion Recognition,” *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, vol. 2018-April, pp. 2906–2910, Sep. 2018, doi: 10.1109/ICASSP.2018.8461750.
- [37] L. Chen, W. Su, Y. Feng, M. Wu, J. She, and K. Hirota, “Two-layer fuzzy multiple random forest for speech emotion recognition in human-robot interaction,” *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 509, pp. 150–163, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.INS.2019.09.005.
- [38] Z. T. Liu, M. Wu, W. H. Cao, J. W. Mao, J. P. Xu, and G. Z. Tan, “Speech emotion recognition based on feature selection and extreme learning machine decision tree,” *Neurocomputing*, vol. 273, pp. 271–280, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2017.07.050.
- [39] L. Sun, B. Zou, S. Fu, J. Chen, and F. Wang, “Speech emotion recognition based on DNN-decision tree SVM model,” *Speech Commun.*, vol. 115, pp. 29–37, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.SPECOM.2019.10.004.
- [40] E. Pashaei, A. Yilmaz, and N. Aydin, “A combined SVM and Markov model approach for splice site identification,” *2016 6th Int. Conf. Comput. Knowl. Eng. ICCKE 2016*, no. Ickke, pp. 200–204, 2016, doi: 10.1109/ICCKE.2016.7802140.
- [41] J. Umamaheswari and A. Akila, “An Enhanced Human Speech Emotion Recognition Using Hybrid of PRNN and KNN,” *Proc. Int. Conf. Mach. Learn. Big Data, Cloud Parallel Comput. Trends, Perspectives Prospect. Com. 2019*, pp. 177–183, Feb. 2019, doi: 10.1109/COMITCON.2019.8862221.
- [42] T. Zhang, W. Zheng, Z. Cui, Y. Zong, and Y. Li, “Spatial-Temporal Recurrent Neural Network for Emotion Recognition,” *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 49, no. 3, pp. 939–947, Mar. 2019, doi: 10.1109/TCYB.2017.2788081.
- [43] R. K. Behera, M. Jena, S. K. Rath, and S. Misra, “Co-LSTM: Convolutional LSTM model for sentiment analysis in social big data,” *Inf. Process. Manag.*, vol. 58, no. 1, p. 102435, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ipm.2020.102435.
- [44] V. Passricha and R. K. Aggarwal, “A Hybrid of Deep CNN and Bidirectional LSTM for Automatic Speech Recognition,” *J. Intell. Syst.*, vol. 29, no. 1, pp. 1261–1274, Jan. 2020, doi: 10.1515/JISYS-2018-0372.
- [45] L. Luo, Y. Xiong, Y. Liu, and X. Sun, “Adaptive Gradient Methods with Dynamic Bound of Learning Rate,” *7th Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2019*, Feb. 2019.
- [46] M. A. Ozdemir, G. D. Ozdemir, and O. Guren, “Classification of COVID-19 electrocardiograms by using hexaxial feature mapping and deep learning,” *BMC Med. Informatics Decis. Mak. 2021 211*, vol. 21, no. 1, pp. 1–20, May 2021, doi: 10.1186/S12911-021-01521-X.
- [47] M. A. Ozdemir, O. K. Cura, and A. Akan, “Epileptic EEG Classification by Using Time-Frequency Images for Deep Learning,” <https://doi.org/10.1142/S012906572150026X>, May 2021, doi: 10.1142/S012906572150026X.
- [48] J. Bergstra, R. Bardenet, Y. Bengio, and B. Kégl, “Algorithms for Hyper-Parameter Optimization,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 24, 2011.
- [49] Z. Aldeneh and E. M. Provost, “Using regional saliency for speech emotion recognition,” in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2017, pp. 2741–2745, doi: 10.1109/ICASSP.2017.7952655.
- [50] R. V. Darekar and A. P. Dhande, “Emotion recognition from Marathi speech database using adaptive artificial neural network,” *Biol. Inspired Cogn. Archit.*, vol. 23, pp. 35–42, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.bica.2018.01.002.
- [51] A. Bhavan, P. Chauhan, Hitkul, and R. R. Shah, “Bagged support vector machines for emotion recognition from speech,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 184, p. 104886, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.KNOSYS.2019.104886.
- [52] S. Mekruksavanich, A. Jitpattanakul, and N. Hnoohom, “Negative Emotion Recognition using Deep Learning for Thai Language,” in *2020 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering, ECTI DAMT and NCON 2020*, 2020, pp. 71–74, doi: 10.1109/ECTIDAMTNCN48261.2020.9090768.
- [53] A. Keesing, I. Watson, and M. Witbrock, “Convolutional and Recurrent Neural Networks for Spoken Emotion Recognition,” in *Proceedings of the The 18th Annual Workshop of the Australasian Language Technology Association*, 2020, pp. 104–109.
- [54] P. Singh, G. Saha, and M. Sahidullah, “Deep scattering network for speech emotion recognition,” May 2021.



Lifetime and performance alteration of photovoltaic panels, the case of Aerzen, Germany

Furkan DİNÇER

Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Electrical-Electronics Engineering, furkandincer@ksu.edu.tr,
Orcid No: 0000-0001-6787-0850

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 July 2021
Received in revised form 18
September 2021
Accepted 18 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

*Solar panel, lifetime, performance,
Aerzen, PVGIS*

ABSTRACT

Solar energy is unlimited, flawlessly, sustainable and among of the most preferred renewable energy source. The rapid development and the increasing demand in solar energy technologies provided an increasing the production and played an important role for reducing costs. Thousands of manufacturers around the world produce solar panels however solar panels are also exposed to aging during their lifetime. This aging of the solar panel is generally expressed by the manufacturers as 10% generation performance loss in 10 years and 20% in 25 years. However, solar panel technology is not a very old technology and these statements on aging are in need of confirmation. So, in this study, the data of a solar power plant that has been operating for about 13 years has been examined in detail and the same plant has been modeled with numerical programme for the case of Aerzen, Germany. Panel aging was discussed by comparing the simulation data with the experimental data.

Doi: 10.24012/dumf.1001925

* Corresponding author

Introduction

With the development of technology, global electricity energy demand is growing [1-3]. Digitized world gives more importance to electrical energy, storage of generated energy and sustainable energy technologies. Among of the sustainable and environmentally friendly renewable energy sources, the most preferred problem-free, unlimited and modular source is solar energy. The desired amount of electrical energy can be generated from solar energy by means of solar photovoltaic panels. Since solar panels are modular, solar panels can be combined modularly as much as the amount of electrical energy needed and the desired power level can be easily reached. Modularity is one of the most important advantages of solar energy source

As in developed countries in the world, there is an intense interest in electricity energy generation from solar energy in developing countries. Industrialists desire to invest in the solar energy sector. In this context, the installed electricity energy generation power plants that generate electricity from solar energy capacity is approximately 7 GW in Turkey [4]. However, considering the solar radiation value of Turkey, the duration of sunshine and the advantages of being under the sun zone, installed power is at much lower levels in Turkey. Germany, have lower

potential although it has installed solar power up to 50 GW.

The cost of electricity generation from solar energy has been decreasing rapidly in the last two decades. The rapid development in solar energy technologies and the increasing demand in the world provided an increase in production and played an important role in reducing costs. With the increasing production, thousands of solar panel manufacturers operate in the world. There are many solar panel manufacturers in the world. Panel manufacturers around the world offer an average of ten years of physical warranty for panels and a twenty-five year warranty for generation performance as standard. Generally, this generation performance is promised as 90% at the end of the tenth year and 80% at the end of the twenty-fifth year following the production of the panel. This is due to the aging of the solar panel over the years. Solar panels are exposed to aging over the years following production, and accordingly, electrical energy generation begins to decline. There are many studies on photovoltaic plants. These papers examine potential and efficiencies of photovoltaic plants. One of them is [5] in order to evaluate potential of Sanliurfa, the annual energy generation values of rooftop photovoltaic panels were calculated by authors. Three different photovoltaic panel technologies are evaluated for

the calculations. Other one [6] is related with utilization of a sun-tracking parabolic dish collector for water heating application under the climatic conditions of Diyarbakır. These and other similar studies have addressed the capacities and performances of photovoltaic power plants.

In this study, panel aging situation of the grid connected roof mounted solar power plant is discussed and examined as detailed. The plant is a 25,74 kWp grid-connected rooftop solar power plant, and 156 units of 165 W BP solar brand BP 3165 model photovoltaic panels and 3 units of 8 kW SMA brand Sunny Mini Central 8000TL model inverters are used. No revision has been made in the plant so far. It was installed in year of 2008 and has been in operation for about 13 years. This solar power plant is located in the city of Aerzen, Lower Saxony state of Germany. It was also simulated and modeled in order to compare the analyses. The modeled solar power plant generation data and the experimentally produced data were compared as detailed. Model success was also analyzed.

Selected Location Information of Solar Power Plant

Aerzen is a municipality in the German state of Lower Saxony. Its population is 10,556 as of December 31, 2017. Area; It is 105.06 km² and its altitude value is 173 m [7]. The image of the selected location is presented in Figure 1.



Figure 1. Image of the selected location for the certain solar power plant [8]

The photovoltaic power potential atlas of Germany is shown in Figure 2. As can be seen from the figure, the regions with the highest solar energy potential are around Munich and Stuttgart. The potential here is approximately 1.200 kWh/kWp. The chosen location has a potential of approximately 1.020 kWh/kWp.

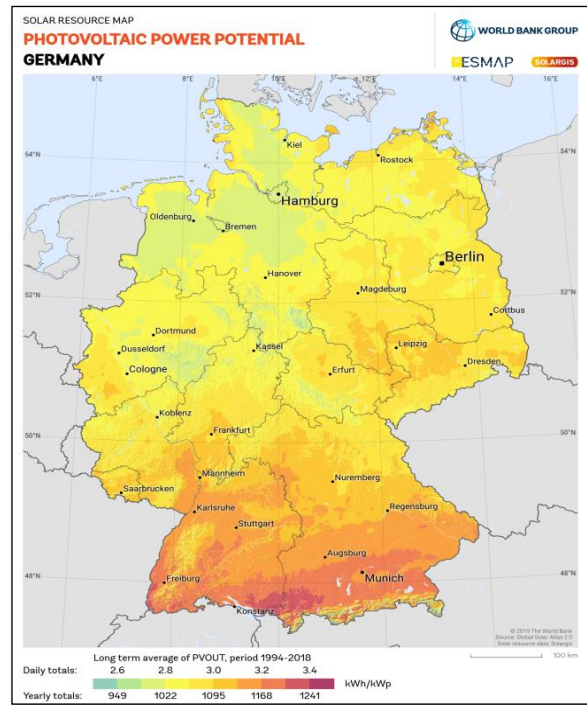


Figure 2. Photovoltaic power potential atlas of Germany [9]

Simulation Analysis and Results for Selected Solar Power Plant

With the photovoltaic geographical information system organized by the European Union, the solar power plant in the city of Aerzen, Lower Saxony, Germany, was modeled in its current state [10]. The input and output information of the modeling are presented in Table 1. In the same way as the installed power plant, the photovoltaic installed power was chosen as 25.74 kWp in the modeling. Crystal silicon was chosen as the panel type and simulation data was loaded as a fixed system. Effective losses such as system losses and environmental factors were entered into the simulation as 19.67%. According to the obtained results, it is expected to generate 24.468,45 kWh of electrical energy annually. In addition, the estimated radiation values related to the location are presented in Table 1.

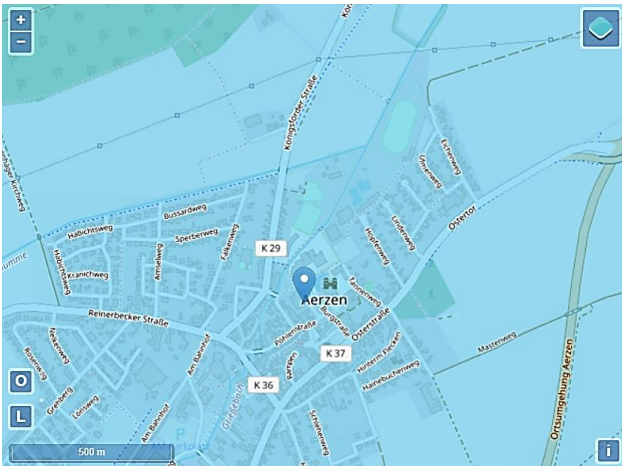


Figure 3. Selected location for PVGIS simulation

Table 1. Simulation data of modeling

Simulation Data:	
Location [Latitude/Longitude]:	52.049, 9.263
Horizon:	Calculated
Data System Used:	PVGIS-SARAH
Panel Technology:	Crystal Silicon
Installed Power [kWp]:	25,74
System Loss [%]:	14
Simulation Outputs:	
Tilt Angle:	35
Azimuth Angle:	0
Annual PV Energy Production [kWh]:	24.468,45
Annual Planar Radiation [kWh/m2]:	1.183,32
Year-to-Year Variability [kWh]:	1.257,98
Other Losses:	
Reflection Losses [%]:	-3,1
Spectral Effects [%]:	1,85
Temperature and Environmental Losses [%]:	-5,35
Total Loss [%]:	-19,67

As a result of the simulation values entry given in Table 1, the variation of the production distribution by months is presented in detail in Figure 4. According to the production estimation, the highest generation on a yearly basis is July with 3,156 kWh, while the lowest generation is December with a production value of 577 kWh. Especially in months of May, June, July and August, the production values remained at a good level with the long sunshine periods. Total annual production estimate of 24.468,45 kWh was obtained as a result of simulation.

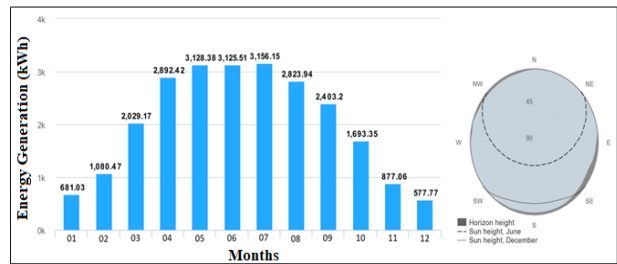


Figure 4. Electrical energy generation according to the monthly distribution as a result of the simulation

Experimental Analysis and Results for Selected Solar Power Plant

Experimental data of the solar power plant located in the city of Aerzen, Lower Saxony state of Germany, are presented in detail in this section. This solar power plant is installed on 07.04.2008. It is a power plant that has been in operation for about 13 years. BP Solar BP 3165 type solar panels are used in the power plant. The electrical properties and physical parameters of panel I_{sc} , V_{oc} , FF etc. are presented in Table 2. Experimental data of the power plant were obtained from Sunny Portal as open access. In Figure 5, the production distribution of the experimentally existing power plant by months is given in detail [11]. 156 pieces of 165 W solar panels are used in the power plant and its total installed power is 25,740 kWp. 3 Sunny Mini Central 8000TL type solar inverters are used. AC power is 24 kWe.

Table 2. Electrical characteristics of BP Solar BP 3165 type solar panel

Panel Power (Pmax)	165 W
Voltage Value (Vmp)	35,2 V
Current Value (Imp)	4,7 A
Short Circuit Current (Isc)	5,1 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44,2 V
Temperature Coefficient (Isc)	(0.065±0.015)%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-(160±20)mV/°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-(0.5±0.05)%/°C

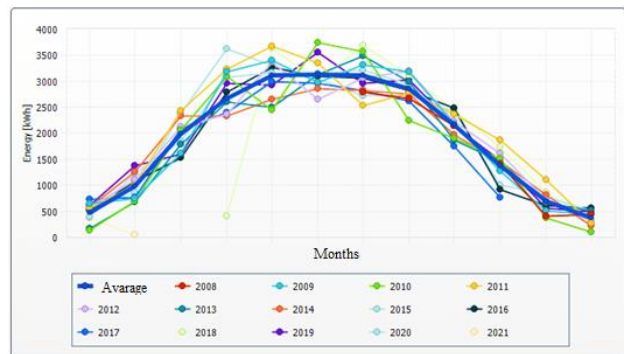


Figure 5. Distribution of electrical energy production of experimentally existing power plant by months

Experimentally, the electrical energy generation distribution of the existing power plant by years is shown in Figure 6. There is a lack of data for 6-7 months in 2008, 2 months in 2017 and 3 months in 2018, and based on the years when the data is not missing, it is seen that the annual production average is generally 22.000 kWh – 23.000 kWh. While 23.527 kWh of electrical energy was produced in 2009, 25.192 kWh of electricity was produced in 2011, 23.843 kWh in 2015, 23.723 kWh in 2019 and 23.820 kWh in 2020.

The variation in annual climate data remains limited to 5%. The effect of climate change over the years on aging can be distinguished. In an unimproved power plant, the generation data is sufficient for the assessment of aging. The most important indicator of aging is loss of production. No change is foreseen for the physical parameters of the panel.

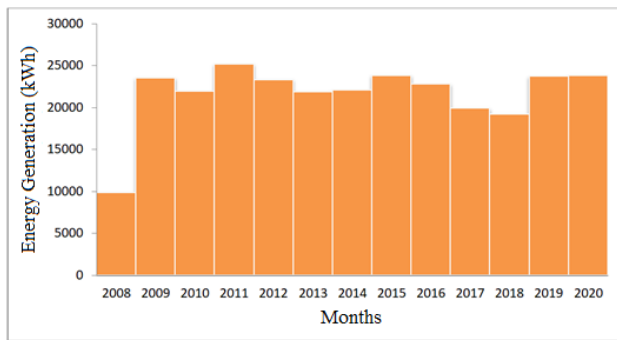


Figure 6. Electrical Energy Generation Distribution of Experimentally Existing Power Plant by Years

Discussion and Conclusion

In this study, a solar power plant that has been in operation for approximately 13 years within the boundaries of a municipality in Aerzen, Lower Saxony, Germany, is analyzed in detail. At the same time, this plant is modeled numerically at the specified location and features. The modeling results and the existing power plant data in production overlap very well. This situation shows that the model is successful in implementation.

The aging of the panels is related to the temperature to which they are exposed. For the location where the study was carried out as experimental and simulation; the average annual maximum temperature is: 14.0° Celsius (57.2° Fahrenheit). The average annual minimum temperature is: 6.0° Celsius (42.8° Fahrenheit) [12]. The aging of the panels was slow as the annual average Temperature was low. Measured production values show that aging is low. It is known that panel aging occurs as long as the solar panels are in operation after their production. In the technical specifications of the panel, whose electrical data are presented in Table 2 and used in the facility, a minimum of 90% electrical energy performance is guaranteed at the end of 10 years and 80%

at the end of 25 years. It has been clearly observed that the production of these panels, which have completed about 13 years, is in a better position than guaranteed.

According to the results obtained; although it is a solar power plant that has been in operation for about 13 years, the aging effect of the panels has not been observed clearly. The amount of electrical energy produced in 2009 and the amount of electrical energy produced in 2020 are very close to each other. Although there are significant differences in electricity generation on a monthly basis, annual production values are approximately close to each other. Although there are many scientific studies on panel aging, long-term measurement-based data are not available in the scientific literature. 13 years of actual measurement data is important for photovoltaic solar energy systems.

As a result; while there may be differences in the panel brands, the expected rapid aging did not occur in this panel used. Although the panels have been in operation for approximately 13 years, a very low level of panel aging has occurred.

References

- [1]. F. Dincer, S. Rustemli, S. Yilmaz, A. Cingi, Kilis ili için farklı yüksekliklerdeki rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 6, no. 1, pp. 12 – 20, 2017.
- [2]. M. Akdag, S. Rustemli, Transmission line fault location: Simulation of real faults using wavelet transform based travelling wave methods, Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, vol. 9, no. 2, pp. 88 – 98, 2019.
- [3]. S. Rustemli, I. Demir, Analysis and simulation of single phase-to-ground short circuit fault in Van 154 kV substation: An experimental assessment, Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, vol. 9, no. 2, pp. 76–82, 2019.
- [4]. Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/5-9378/2021-yili-ocak-ayi-sektor-raporlari-yayinlanmisti> date of access: 10 April 2021.
- [5]. E. Yıldırım, M. A. Aktacir, Çatı Üstü PV Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Şanlıurfa Örneği, Dicle University Journal of Engineering, vol. 12, no. 1, doi: 10.24012/dumf.860242.
- [6]. A. G. Devocioğlu, M. Hatipoğlu, V. Oruç, Utilization of a sun-tracking parabolic dish collector for water heating application, Dicle University Journal of Engineering, vol. 12, no. 2, doi: 10.24012/dumf.784088.
- [7]. Aerzen, Germany, wikipedia.org, date of access: 10 April 2021.
- [8]. Google Maps, www.google.com/maps/?hl=tr, date of access: 10 April 2021.
- [9]. Solar PV Map, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/germany>, date of access: 03 April 2021.
- [10]. Solar PV Tool, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP, date of access: 03 April 2021.
- [11]. Solar PV Inverter, www.sunnyportal.com, date of access: 16 February 2021.
- [12]. <https://weather-and-climate.com/average-monthly-min-max-Temperature,aerzen-lower-saxony-de,Germany>, date of access: 03 August 2021.



Mapping of electric field intensity distribution in the 27 MHz - 3000 MHz frequency range in Diyarbakir city center

Mehmet Veysel ÖNLÜ^{1*}, Hüseyin ÖZMEN², Muhammed Bahaddin KURT³

¹ Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, mehmetveyselonlu@gmail.com, Orcid No: 0000-0003-2914-5943

² Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, huseyin.ozmen@dicle.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6482-9246

³ Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, bkurt@dicle.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6983-2081

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 August 2021

Received in revised form 22

September 2021

Accepted 24 September 2021

Available online 28 September 2021

Keywords:

electric field intensity, mapping,
mobile measurement

ABSTRACT

It is evident that the rapid development in science and technology has enabled various electronic devices and communication systems. However, there are also undesired effects of those devices on human health. One of those effects is the electromagnetic fields that exceeds the limits. Therefore, the electromagnetic fields emitted by the devices should not exceed a certain level. In that respect, different institutions around the world have determined the certain limits. One of the most important of these organizations in the world is the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Similar to the other existing organizations, the Information and Communication Technologies Authority (BTK) is the responsible authority in Turkey. In this study, electric field intensity values were measured using the drive test method with the Selective Radiation Meter (SRM-3006) device on the main streets in Diyarbakır City Center. Obtained measurement values were shown on dot thematic maps, two-dimensional maps and three-dimensional maps. As a result, locations with the highest electric field intensity were determined by these maps. In addition, the obtained results were compared with the limit values determined by ICNIRP and BTK and it was seen that the measured electric field intensity values did not exceed the exposure limits.

Doi: 10.24012/dumf.1001977

* Corresponding author

Introduction

Mobile devices have become an indispensable part of our lives due to the communication age we are living in. As a result, the communication network and infrastructure in cities has gradually expanded especially with the development of 2nd, 3rd and 4th generation communication systems. Electromagnetic waves are the most important component of mobile communication systems that surround the living spaces. Although those waves are not ionizing, it may pose a certain threat on human health if it exceeds certain values. Therefore, certain limits are determined by organizations such as ICNIRP [1] and BTK [2]. In Turkey, many studies have been performed in order to examine the relevance of the electric field intensity with the limit values in the city center or residential areas.

In the study conducted by Cansız [3] in 2010, NBM 520 wide band electromagnetic field meter device belonging to Narda company for use in high frequency electromagnetic field measurement and EHP-50C electric and magnetic field meter device belonging to Narda company for use in low frequency electromagnetic field measurement were used to carry out mobile and manual measurements in Diyarbakır city center. The data obtained as a result of the study were shown on the digital satellite map and then compared with the reference limits accepted by ICNIRP.

In 2015, a study was conducted [4] by measurements with the drive test method using BTK approved devices in order to create electromagnetic field maps in the 100 KHz – 3 GHz frequency range of Balıkesir city center and Balıkesir University Cagis Campus. Then, the measured values were compared with national and international electromagnetic field (EMF) exposure limit values. As a result, it was determined that the limit values were not exceeded.

In another work, Cansız [5] measured RF EMF exposure levels of FM, TV3, TV4-5, GSM 900, GSM 1800 and UMTS bands on the main roads in Diyarbakır City Center with the drive test method with SRM 3006 and a three-axis antenna in 2016. Using the data obtained, electromagnetic pollution level was mapped in Diyarbakır city center. In addition, it has been determined that the obtained electric field intensity values are below the limit values announced by national and international organizations.

The examples can be expanded further. For example, unlike the previously listed studies 60 measurements at 46 different points in the city center of Sinop for 30 days with the Extech 480836 device was also carried out, which covers the frequency range of 50-3500 Mhz and performs broadband measurement [6]. The measurement points are shown on the map and the electromagnetic pollution map is revealed according to the obtained values. It has been

determined that the obtained values are not above the limit values reported by BTK.

In another study [7], carried out in 2019, electric field intensity measurements were performed at 19 different points in Marmara University Başibüyük Campus by using SRM 3006 device to analyze electromagnetic field pollution in different weather conditions. It has been determined that the data obtained in the measurements are below the limit values announced by national and international organizations.

In the study conducted by Memişoğlu [8] in 2019, electromagnetic field intensity values in kindergartens in the city center of Rize were determined by using the SRM 3006 device and a three-axis antenna. The results of the measurements made at different times of the day in 22 different kindergartens were presented with tables and graphs and compared with the limit values announced by the BTK. As a result of the comparison, it was seen that the determined limit values were not exceeded. In addition, recommendations are also included in the study to avoid exposure to electromagnetic field pollution.

In 2020, measurements at 11 different points at 4 different times in the center of Beşpınar town of Demirözü district of Bayburt province and around the town was also performed by using the SRM-3006 device [9]. Although sometimes high values are found in the measurements, it has been reported that the limit values determined by national and international institutions are not exceeded.

In this study, the electric field intensity values at 27 MHz – 3000 MHz frequency range and some important bands that between this frequency range such as FM, TV, LTE800, 2G, LTE1800, 3G, LTE2100, WLAN, LTE2600 were measured using the drive test method on the route determined in Diyarbakır city center. Measurements were made using the Narda SRM 3006 device [10]. These data, which were transferred to the computer environment later, were converted thanks to the Matlab software [11] into txt file format that includes latitude, longitude of measurement points and instantaneous maximum electric field intensity values for use in the Mapinfo program [12]. The txt files uploaded to the MapInfo program were processed and the electric field intensity at 27 MHz – 3000 MHz, FM, TV, LTE 800, 2G, LTE 1800, 3G, LTE 2100, WLAN, LTE 2600 bands on the measurement route in Diyarbakır city center visualized and presented using dot thematic map, 2D and 3D maps. In this way, according to the frequency range, where and what values of the electric field intensity in Diyarbakir were seen.

Material and Methods

Mobile measurements were carried out using the drive test method between 15:30 and 18:30 on 14.04.2021 in the city center of Diyarbakir. Maximum instantaneous electric field intensity values were measured at a total of 797 points by measuring once in 6 seconds while moving at a speed of 40 km per hour with the mobile measurement car on the measurement route. Using the SRM-3006 device and a three-axis antenna, the total electric field in the 27 MHz – 3 GHz frequency range, as well as the electric field values in the FM, TV, LTE 800, 2G, LTE

1800, 3G, LTE 2100, WLAN, LTE 2600 bands, were also measured and recorded separately. The SRM-3006 device, produced by Narda company, is a measuring device for safety analysis and environmental measurements of high-frequency electromagnetic fields in the 9 kHz to 6 GHz frequency range. The SRM-3006 measurement system consists of a single axis or triaxial antenna and the SRM-3006 main unit. In the mobile measurements we made in Diyarbakır city center, an antenna capable of measuring three-axis E-field and measuring in the frequency range of 27 MHz - 3 GHz was used. The SRM-3006 device and triaxial antenna used in mobile measurements are shown in Figure 1.



Figure 1. SRM-3006 device and triaxial antenna.

In order to carry out mobile measurements, the three-axis electric field antenna was mounted on the car thanks to a special vacuum. A 1.5 meter long connecting cable was used to connect the SRM main unit and the triaxial antenna. The mobile measurement setup is shown in Figure 2.



Figure 2. Mobile measurement car.

Results and Discussion

The recorded 797 measurement values were transferred to the computer environment via the Narda 3006 SRM Tools software. The obtained data were tabulated as latitude, longitude and maximum electric field value by using Matlab software and uploaded to the Mapinfo program as a txt file. Using the data uploaded to the MapInfo

program, the route, dot thematic map on the route, 2D maps and 3D maps were created in the city center of Diyarbakır. Figure 3 shows the measurement route in Diyarbakır city center.

The measurement route shown in red in Figure 3 is determined by considering the main roads, the busiest boulevards and streets in the city center of Diyarbakır. Each red dot represents the locations where the measurement is performed. The measured bands with the drive test method in Diyarbakır City Center, the number of measurements made for each band, the frequency ranges of the bands and the measured highest and average values of electric field intensity and standard deviation of the electric field intensity distribution are shown in Table 1.

Table 1. Measured EMF bands and frequency ranges in Diyarbakır City Center

Service Name	Number of Measurements	Min. Frq. (MHz)	Max. Frq. (MHz)	Max. E. (V/m)	Avg. E. (V/m)	Standard Deviation
FM	797	88	108	4.648	0.2903	0.6342
TV	797	470	790	1.686	0.2026	0.2626
LTE 800	797	791	821	3.766246	0.5507	0.4952
2G	797	935,1	1820	4.562419	0.7053	0.5997
LTE 1800	797	1820,1	1879,9	3.962747	0.6395	0.5007
3G	797	2110	2160	4.96885	0.8489	0.5552
LTE 2100	797	2160	2170	4.135	0.1848	0.2547
WLAN	797	2400	2483	0.1973	0.1447	0.0151
LTE 2600	797	2620	2670	3.194840	0.3803	0.3352
Total E Field	797	27	3000	6.943	1.7824	1.0084

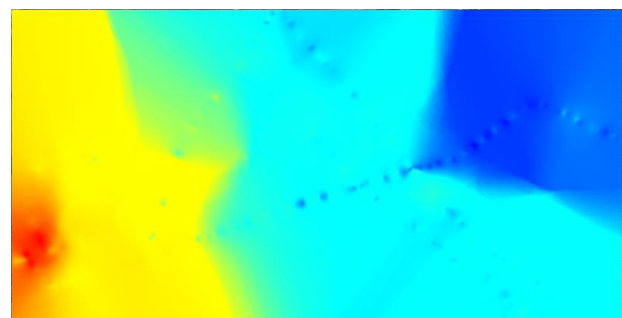
As seen in Table 1, the highest electric field intensity value among FM, TV, LTE800, 2G, LTE1800, 3G, LTE2100, WLAN, LTE2600 bands was recorded as 4.96885 V/m in the 3G band in the measurements made in Diyarbakır city center. The lowest value among all bands is 0.1973 V/m, which is the highest value of the WLAN band. The highest electric field intensity value in 27 MHz – 3000 MHz was measured as 6.943 V/m. These values were measured at different coordinates on the measurement route. These values and the electric field intensity values in other locations where measurements were made were visually shown in three different ways as dot thematic map, 2D map and 3D map on the Google Map satellite image of Diyarbakır city by using the Mapinfo program. Thus, the electric field intensity distribution of the measured frequency bands can be clearly seen on maps. Figure 4 shows electric field intensity distribution at FM band which covers 88 MHz – 108 MHz frequency range.



Figure 3. Routes and points where electric field intensity measurements are made in Diyarbakır city center.



a)



b)

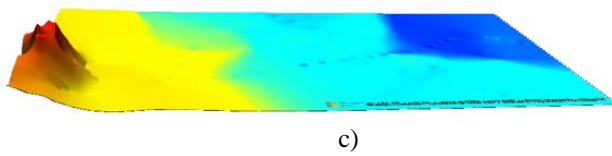


Figure 4. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the FM band in Diyarbakir city center

In the above figures, the locations with the highest electric field intensity in the FM band are shown in red. As the figure demonstrates, the red region is concentrated in a certain region which is caused by the FM receiver/transmitter station on the region named Talaytepe. The electric field intensity in the FM band decreases to a great extent as moving away from the station.

In Figure 5, the electric field intensity distribution measured in the TV frequency band that is between 470 MHz - 790 MHz is shown on the maps.

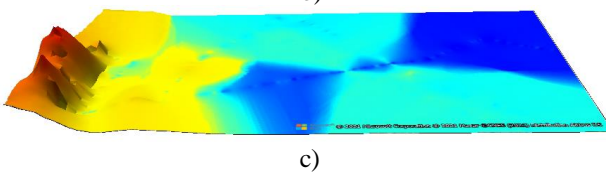
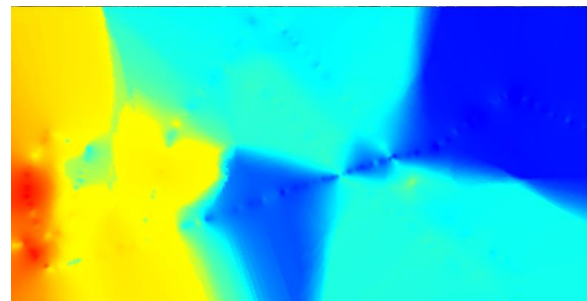


Figure 5. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the TV band in Diyarbakir city center

It is seen that the electric field intensity is concentrated on Talaytepe hill in the TV band as it is in the FM band.

Figure 6 shows the electric field intensity of the LTE800 band which is between 791 MHz – 821 MHz frequency.

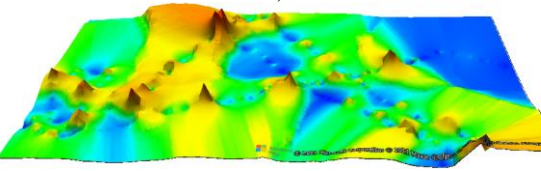
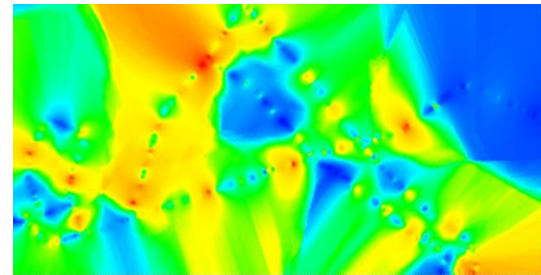
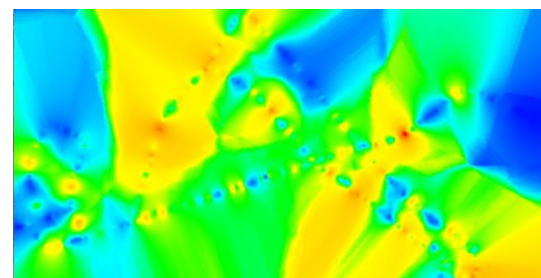
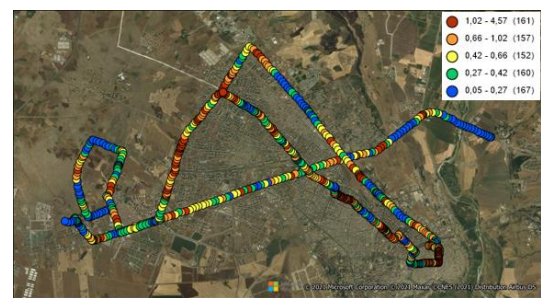


Figure 6. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the LTE800 band in Diyarbakir city center

According to the maps in Figure 6, it is seen that the electric field intensity in the LTE800 band is especially concentrated on Mahabad boulevard, Urfa street and Gazi street in Sur district. This is largely due to the base stations on these streets due to the human population.

Figure 7 shows the electric field intensity of the 2G band which is between 935.1 MHz – 1820 MHz.



b)

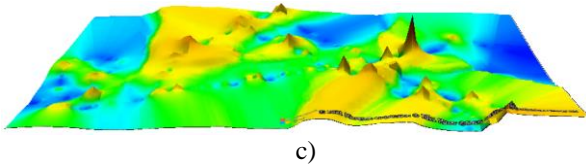


Figure 7. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the 2G band in Diyarbakir city center

According to Figure 7, the electric field intensity in the 2G band is especially concentrated in Seyrantepe district, Turgut Özal boulevard, Mahabad boulevard and Gazi street.

The maps that show electric field intensity distribution of the LTE1800 band which is between 1820,1 MHz – 1879,9 MHz frequency range are presented in Figure 8.

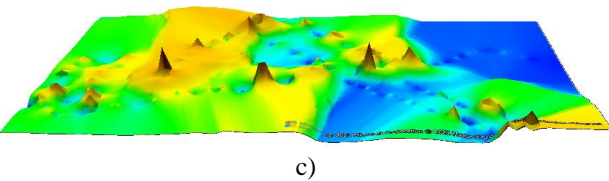
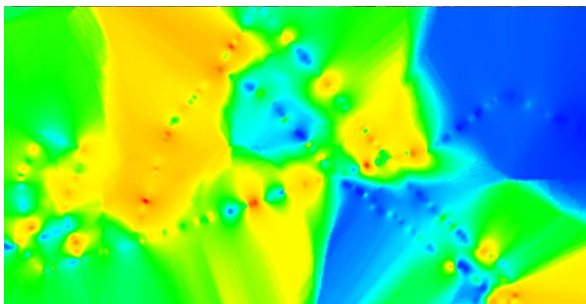


Figure 8. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the LTE1800 band in Diyarbakir city center

According to Figure 8, the electric field intensity in the LTE1800 band is especially concentrated on Mahabad boulevard, Urfa street, Seyrantepe district and Gazi street.

Figure 9 shows electric field intensity distribution maps of the 3G band that is between 2110 MHz – 2160 MHz frequency range.

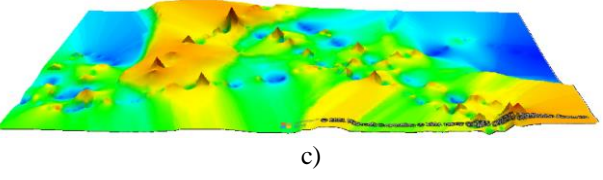
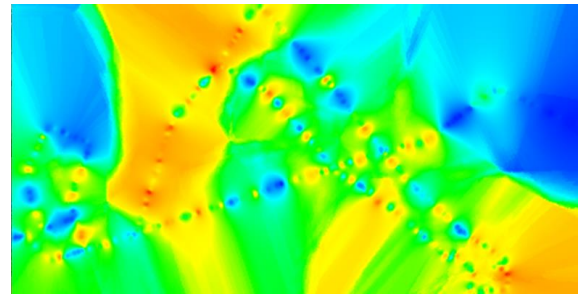
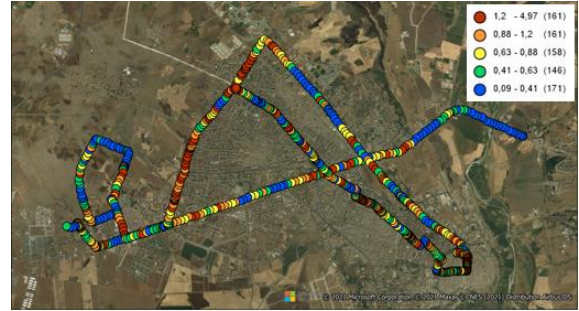
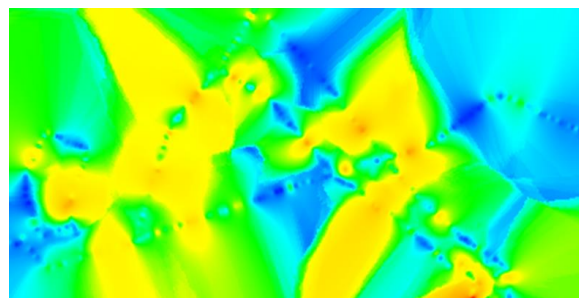
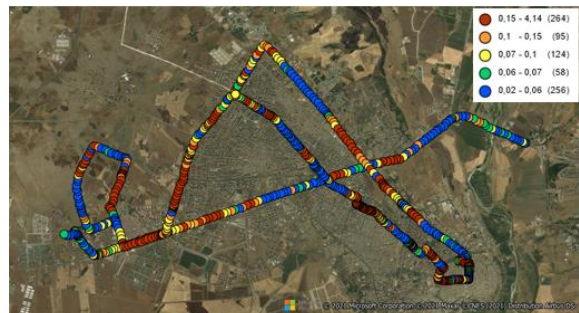


Figure 9. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the 3G band in Diyarbakir city center

As seen in Figure 9, the electric field intensity in the 3G band is especially concentrated in Mahabad boulevard and Gazi street.

Electric field intensity distribution maps of the LTE2100 band covering the 2160 MHz – 2170 MHz frequency range are as shown in Figure 10.



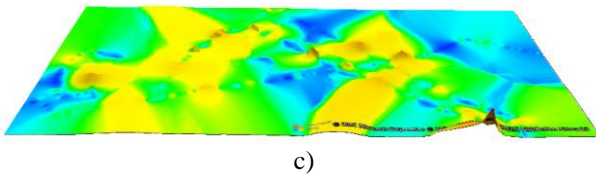
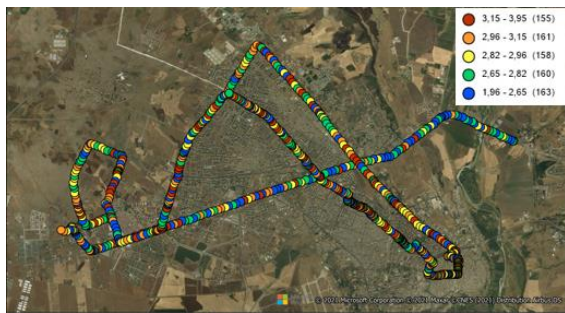


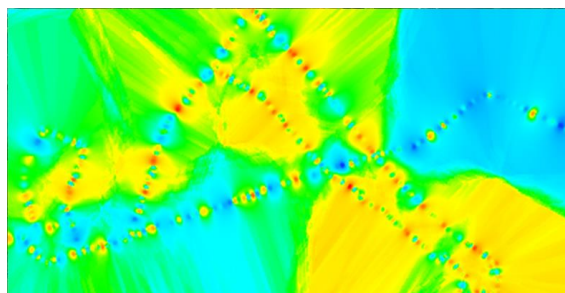
Figure 10. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the LTE2100 band in Diyarbakir city center

As seen in Figure 10, the electric field intensity in the LTE2100 band has a relatively uniform distribution. Measured peak value was measured as 3.194840 V/m in Sur district. Standard deviation of the distribution was calculated as 0.2547.

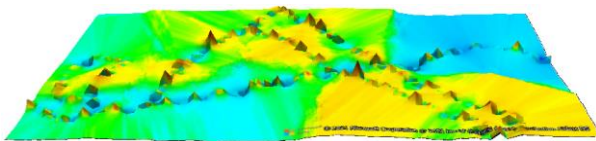
Electric field intensity distribution maps of the WLAN band covering the 2400 MHz – 2483 MHz frequency range are shown in Figure 11.



a)



b)

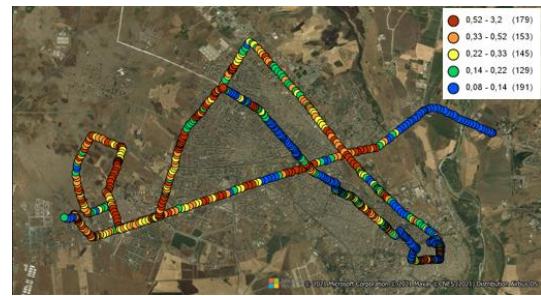


c)

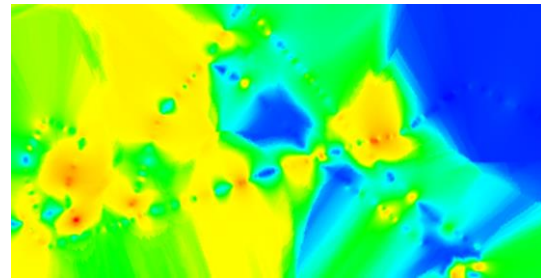
Figure 11. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the WLAN band in Diyarbakir city center

WLAN is a computer network that enables one or more devices to be connected to each other by wireless communication. Since it works with less power than mobile communication systems, the electric field intensity it causes is lower. As seen in Figure 11, the electric field intensity in the WLAN band shows a more homogeneous distribution on the measurement route. Therefore, as presented in Table 1, the maximum electric field intensity is lowest in WLAN and the standard deviation is quite low, at 0.0151.

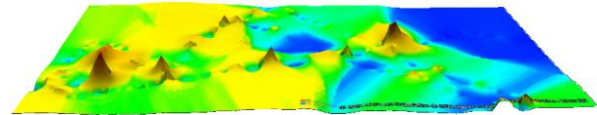
Electric field intensity distribution maps of the LTE2600 band that is between 2620 MHz – 2670 MHz frequency range are shown in Figure 12.



a)



b)



c)

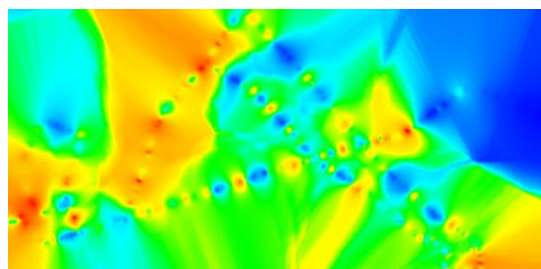
Figure 12. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of electric field intensity in the LTE2600 band in Diyarbakir city center

As seen in Figure 12, the electric field intensity in the LTE2600 band is especially concentrated in Urfa street and Mahabad boulevard. Measured maximum electric field intensity is 3.194840 V/m and standard deviation of the distribution is 0.3352.

Electric field intensity distribution maps of the Total band covering the 27 MHz – 3000 MHz frequency range are shown in Figure 13.



a)



b)

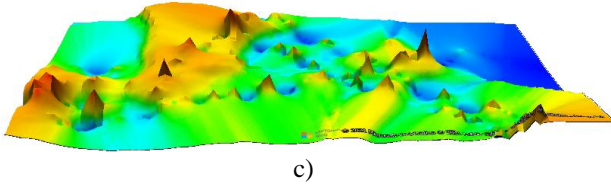


Figure 13. Dot thematic map (a), 2D map (b), 3D map (c) of the total electric field intensity in Diyarbakir city center

As seen in Figure 13, the electric field intensity in the 27 MHz – 3000 MHz frequency range is concentrated in Talaytepe, Mahabad boulevard and Gazi street. In addition, there are concentrated points on Urfa Street and Seyrantepe district. When compared with other bands, the standard deviation is the highest with a value of 1.0084. The reason of this is that while the electric field intensity is higher in certain places, the electric field intensity is lower in other places. Especially in the 2D map in Figure 13b and the 3D map in Figure 13c, the regions where the electric field intensity is highly concentrated are clearly seen.

Conclusion

This paper investigates the electric field intensity values that have been measured by the drive test method using the SRM-3006 device in the city center of Diyarbakir. Mobile measurements were carried out at 797 points on the determined route. The measurements were carried out on the busy streets of the city center and during peak hours of human activity. Electric field intensity values in FM, TV, LTE 800, 2G, LTE 1800, 3G, LTE 2100, WLAN, LTE 2600 bands, as well as the total electric field intensity in the entire 27 MHz – 3 GHz frequency range, were separately measured with a mobile measuring car. The highest value of the total electric field intensity was measured as 6.943 V/m, and it was seen that this value did not exceed the limit values determined by ICNIRP and BTK. In addition, using the data obtained as a result of mobile measurements, dot thematic maps, 2D maps and 3D maps were created and the electric field intensity distribution was presented visually.

Although the highest electric field intensity values in the measurements were below the limit values of ICNIRP and BTK, these studies should be carried out periodically by including new settlements to be established in the measurement route and it should be checked whether the limit values are exceeded.

References

[1] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).” *Health Physics*, 74(4), 494–522, 1998.

[2] T.C. Resmi Gazete, “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik Taslağı.” 30394 Mükerrer, 12.4.2018.

[3] M. Cansız, “Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Durum Değerlendirilmesi.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Dicle Univ., Diyarbakır, Turkey, 2010.

[4] A. Keysan, “Balıkesir İli Şehir Merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi’nin Elektromanyetik Alan Haritası.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Balıkesir Univ., Balıkesir, Turkey, 2015.

[5] M. Cansız, “Diyarbakır İl Merkezi’nde Elektromanyetik Alan Maruziyet Seviyelerinin Ölçümü, Haritalandırılması ve İstatistiksel Analizi.” Ph.D. dissertation, Institute of Natural and Applied Sciences, Inonu Univ., Malatya, Turkey, 2016.

[6] B.Polat, “Sinop İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Kirlilik Haritasının Çıkarılması.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Sinop Univ., Sinop, Turkey, 2017.

[7] İ. Öztürk, “Marmara Üniversitesi Başbüyük Yerleşkesi’Ndeki Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Farklı Hava Koşullarına Göre Analizi Ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Marmara Univ., İstanbul, Turkey, 2019.

[8] K. Memişoğlu, “Rize İl Merkezinde Bulunan Temel Eğitim Müdürlüğüne Bağlı Okullarda Elektromanyetik Alan Seviyelerinin Belirlenmesi.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Recep Tayyip Erdogan Univ., Rize, Turkey, 2019.

[9] B. C. Sayı, “Bayburt İli Demirözü İlçesi Beşpınar Beldesi’Nin Elektromanyetik Kirlilik Yönünden İncelenmesi.” M.S. thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Recep Tayyip Erdogan Univ., Rize, Turkey, 2020.

[10] Narda, SRM-3006 Selective Radiation Meter Operating Manual, 2021.

[11] MATLAB. Version 7.10.0 (R2014a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2014.

[12] Mapinfo, Mapinfo Professional Version 17.0 Release Notes 69, 2018.



A Classification Approach for Focal/Non-focal EEG Detection Using Cepstral Analysis

Delal ŞEKER^{1*}, Mehmet Sıraç ÖZERDEM²

¹ Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, delalkabak93@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-9368-8902

² Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, sozerdem@dicle.edu.tr, Orcid No 0000-0002-6863-7150

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 August 2021
Received in revised form 21 September 2021
Accepted 22 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

cepstrum analysis, classification, EEG, focal and, non-focal

Doi: 10.24012/dumf.1002081

* Corresponding author

ABSTRACT

Electroencephalogram (EEG) is a convenient neuroimaging technique due to its non-invasive setup, practical usage, and high temporal resolution. EEG allows to detect brain electrical activity to diagnose neurological disorders. Epilepsy is a crucial neurologic disorder that is reasoned from occurrence of sudden and repeated seizures. The goal of this paper is to classify the focal (epileptogenic area) and non-focal (non-epileptogenic area) EEG records with cepstral coefficients and machine learning algorithms. Analysis is carried out using publicly available Bern-Barcelona EEG dataset. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) are calculated from EEG epochs. Feature sets are normalized with z-score and dimension reduction is realized using Principal Component Analysis. Fine Tree, Quadratic Discriminant Analysis, Logistic Regression, Gaussian Naïve Bayes, Cubic Support Vector Machine, weighted k-nearest neighbors, and Bagged Trees are applied for classification stage. A value of k=10 is used for cross validation. All focal and non-focal EEG pairs are perfectly classified with acc., sen., spe., and F1-score of 100% and AUC with 1 via. Quadratic Discriminant Analysis, Logistic Regression, Cubic SVM and Weighted k-NN. Proposed work recommends MFCCs as a single marker and this provides less computation workload, practicality, and direct processing of focal / non-focal EEG time series. Proposed methodology in this paper serves one of the highest achievements to literature and can assist neurologist and physicians to validate their diagnosis.

Introduction

Epilepsy is one of the common neurological disorders that emerges due to sudden electrical activity in the brain [1]. In accordance with World Health Organization (WHO) reports, there have been about 50 million patients suffering from epilepsy around the world, and 80% of current patients are living in lower income countries [2]. EEG records obtained from epileptogenic area are called as focal EEG, while EEG records sourced from other regions are non-focal EEG [3]. Some of focal epilepsy patients are drug resistant, and recovery of these patients is feasible with only local brain surgery. Long duration of EEG records needs to be analyzed by neurosurgeons to localize epileptogenic zone prior to surgical operation. This stage is strenuous, time consuming and inclined to errors, therefore, an automatic decision system assists neurologists for examining EEGs via. signal processing methods and machine learning algorithms [4].

EEG records have been preferred as a popular brain screening tool for researchers. This method has non-invasive implementation, higher temporal resolution, and cost-effective solutions [5]. In this regard, there are various methods have been proposed for discrimination of focal and non-focal EEG records. Wavelet based features [6],

Empirical Mode Decomposition [4], entropy algorithms [7], deep neural architectures [4], [8], [9], and multi-features [10]–[12] are some of algorithms for focal / non-focal EEG identification task in literature studies. The main purpose of the present study is to present an effective method to classify focal / non-focal EEG records. In this context, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) are calculated from related EEG epochs. One of the powerful sides of cepstrum analysis is that any repetitive pattern or harmonic behaviors are emerged as unique component of cepstrum analysis. Yavuz et al. (2018) also reported that there are also a few studies that investigate brain's cognitive behavior using cepstral analysis [13]. According to our research and knowledge, there has been no study that applied cepstral analysis to existing focal / non-focal EEG dataset previously. For further analysis, MFCCs are normalized within z-scores and Principal Component Analysis is applied to normalized feature sets to obtained more relevant subsets of features. Finally, Fine Tree, Quadratic Discriminant Analysis, Logistic Regression, Gaussian Naïve Bayes, Cubic Support Vector Machine, weighted k-nearest neighbors, and Bagged Trees as one of ensemble learning algorithm are applied for classification stage and different performance metrics are calculated.

Moreover, k=10 cross validation is used to split train and test sets.

The remaining of the paper is organized as follows: Section 2 explains proposed methodology, extracted features and classification process. Obtained results are reported and discussed with previous findings in Section 3. Finally, paper is concluded with Section 4.

Material and Methods

Bern-Barcelona Database

In this study, a publicly available Bern-Barcelona EEG dataset is processed for discrimination of focal and non-focal records from Department of Neurology, Bern University [14]. Dataset was recorded from 5 temporal epilepsy patients before brain surgery. Focal EEG records are acquired from the brain regions where appears ictal signals and, non-focal signals are recorded from the lobes that do not exist any seizure. Electrode locations are located according to 10/20 placement. Dataset consists of 3750 focal and 3750 non-focal segment and each segment has X-Y pairs. Signals were recorded with 512 Hz f_s during 20 s. Sample EEG records is given in Fig. 1.

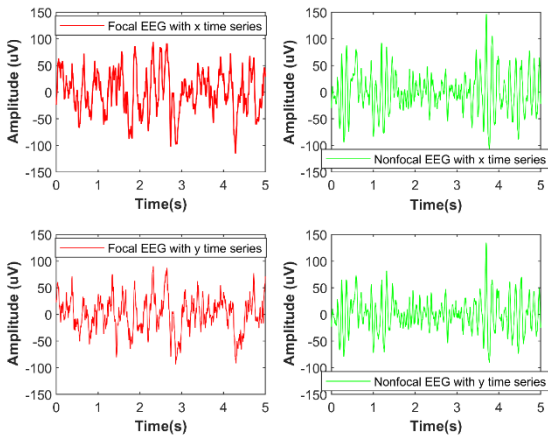


Figure 1. 5 s of sample focal / non-focal EEG records of x-y pairs

Method

The current methodology consists of 4 steps: i) obtaining EEG records, ii) dividing EEGs into epochs, feature calculation from epochs, normalization of feature set and dimension reduction to obtain relevant sub-sets, iii) dividing features into train and test sets in order to avoid any bias and overfitting and after that applying machine learning algorithms to compare classification performances, and finally iv) calculating performance metrics for binary classification of focal and non-focal EEGs. The steps followed in related work is illustrated in Fig. 2.

i) Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) for Feature Extraction

Cepstrum analysis is mainly used for speech recognition and seismic signals. It can be defined as an inverse Fourier transform of the logarithm of a calculated spectrum. Due a

signal has repetitive and harmonic pattern, cepstrum analysis can be utilized as a powerful marker [15]. The steps of how a signal transform to cepstral domain is illustrated in Fig. 3. $x[n]$ is the time domain signal and refers to EEG signal. In addition, $X[k]$ stands for frequency spectrum of $x[n]$. $X'[k]$ is log magnitude of filter bank energy from calculated spectra. $c[n]$ is the final cepstrum after Discrete Cosine Transform of $X'[k]$. Cepstrum coefficient, c_j , as given in Eq. (1).

$$c_j = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{i=1}^N A_i \cos\left(\frac{\pi j(i-0.5)}{N}\right) \quad 0 \leq j \leq N \quad (1)$$

where c_j refers to j th cepstral coefficient, and A_i shows logarithmic value for one of the N channels in filter bank.

Spectrum of mel-frequency during specific time n for $r=1, 2, \dots, R$ is calculated in Eq. (2)

$$MF_n[r] = \frac{1}{A_r} \sum_{k=L_r}^{U_r} |V_r[k] X_n[k]|^2 \quad (2)$$

where $V_r[k]$ stands for the triangular weighting function for order= r filter and index of DFT k is from L_r to U_r . In addition, A_r refers to r th order mel-filter normalization coefficient and given in Eq. 3.

$$A_r = \sum_{k=L_r}^{U_r} |V_r[k]|^2 \quad (3)$$

Mel frequency cepstral coefficients (MFCCs) can be calculated by DCT of logarithm of filter outputs [13]. Details are given in Eq. 4.

$$MFCC_n[m] = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \log(MF_n[r]) \cos\left[\frac{2\pi}{R} \left(r + \frac{1}{2}\right)m\right] \quad (4)$$

To summarize, the signal is divided into short frames. The reason behind dividing into short frame is to capture statistically stationary segments even if samples are constantly changing. We calculate power spectrum of each frame and identify which frequencies are present in the frames. Then, we apply mel-filter banks to power spectra and, sum the energy in each filter. Thus, one can reach the idea of how much energy exists in different frequencies. Mel scale determines width of the filter banks as the frequency gets higher, filters get wider. After taking logarithm of all filter bank energies, it enables a normalization technique to realize cepstral mean subtraction. This stage is similar with a compression operation to features. Calculated filter bank energies are so correlated because filter banks are all overlapping. DCT uses diagonal covariance matrices to decorrelate the energies. Generally 12 out of 26 DCT coefficients are kept because higher DCT coefficients include fast changes in filter bank energies and possible changes may attenuate performance. For this reason, we drop DCT coefficients after 12th to get more improvement. In this study, 13 number of the static cepstral coefficients including 0th coefficient are calculated. In addition to these static

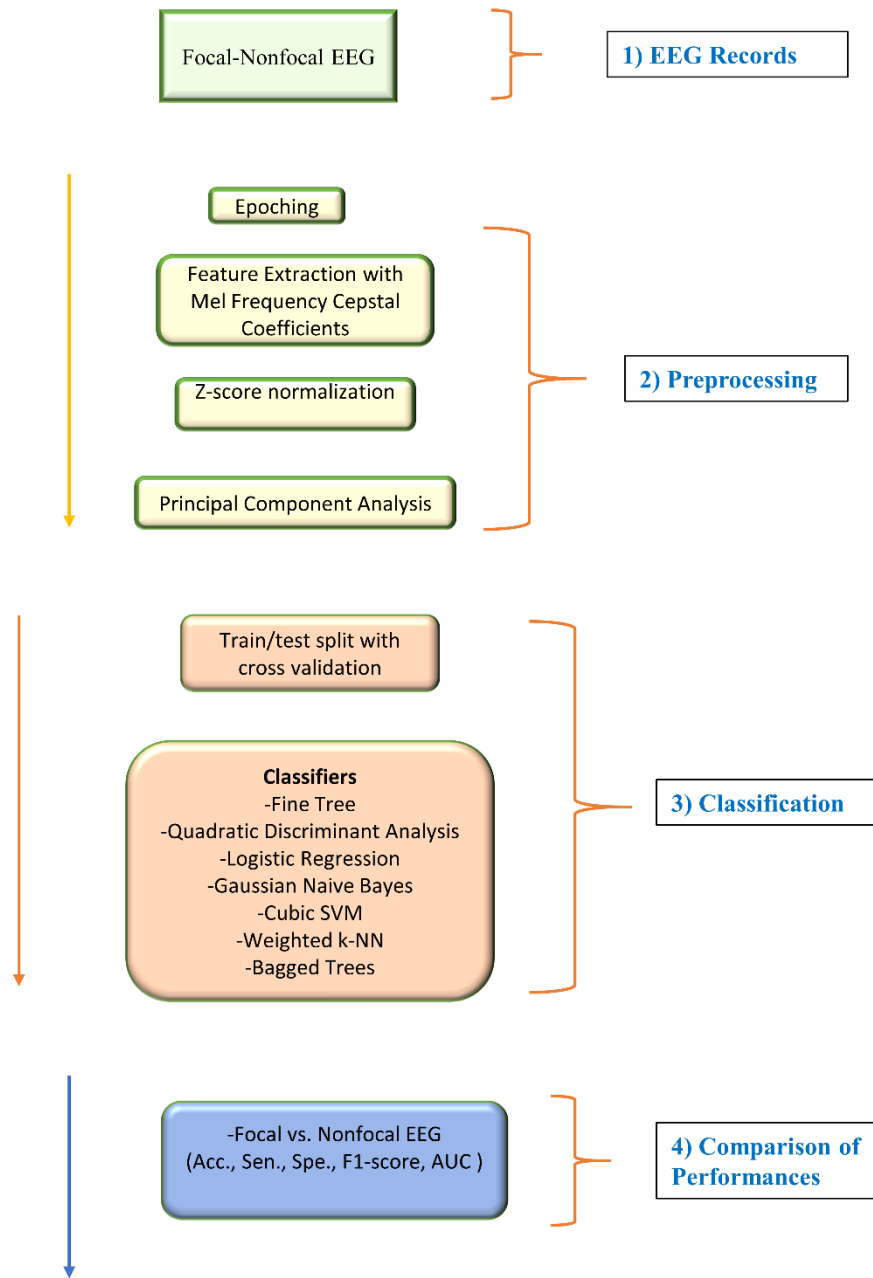


Figure 2. Steps followed in proposed study for focal and non-focal EEG Time Series

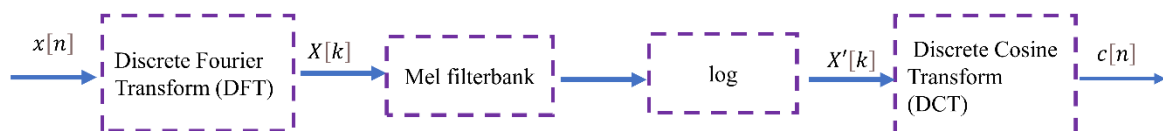


Figure 3. Process for calculation of cepstral coefficients

parameters, 1st order time derivatives ('delta'), also known as differential coefficient, and 2nd order time derivatives ('delta-delta'), also known as acceleration coefficient, are calculated. These 2 parameters are called dynamic parameters. Then, Log-energy coefficients are added to each group. Combining dynamic parameters within static parameters will increase robustness and stability of the study. In order to calculate MFCCs, hamming window in time domain during spectrum calculation and triangular shaped filters in mel-domain is applied as filter banks.

Filters act in absolute magnitude domain. Some of the studies in literature view have obtained higher performance values by analyzing all the coefficients [13]. Finally, 42-coefficient feature vectors are extracted from focal and non-focal EEG segments.

ii) Z-score normalization and Principal Component Analysis (PCA) for dimension reduction

Before applying PCA to feature sets, we normalize the feature vector with z-score. We can use z-scores to put on the features on the same scale prior to further steps. Z-scores are calculated in terms of mean (μ) and standard deviation (σ). Then, normalized feature set has $\mu=0$ and $\sigma=1$ as calculated in Eq. 5.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Processing with high dimensional and redundant features is time consuming and obtained results might be poor. For the purpose of gaining top few features which represent the data set sufficiently and no information to be lost, we applied PCA to feature sets after z-score normalization. If we are given a $X:(n \times t)$, where n is number of features and t is the number of observations, PCA can be calculated as eigenvalue of covariance matrix $C_x = XX^T$. The ratio of variance belong to first p components over whole feature set variance is calculated in Eq. 6.

$$RV_{1:n} = \frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (6)$$

where λ_i is the eigenvalue of i^{th} principal component [16]. Number of principal components is based on explained variance. In this study, 95% of total variance is explained by 11 principal components out of 42 coefficients.

iii) Classifiers

Fine Trees

Decision trees have a framework that divides large number of inputs into small set of records by applying a set of decision rules. A decision tree has a pre-defined target variable and provide a strategy from top to the bottom due to their structure. Decision trees are easily interpretable and can process both numerical and categorical data. They may also produce low predictive performance metrics and result with overfitting. We need to grow simpler trees to solve overfitting problem.

Moreover, we may specify the maximum number of splits or branch points to check depth of the tree. In this study, we preferred to use fine tree due to its fast prediction speed, easy interpretation, and flexible model to make fine distinctions among classes [17]. In current model, different set of numbers are selected and maximum number of split is decided as 100 as it gives best classification rate. Moreover, split criterion is Gini's diversity index.

Quadratic Discriminant Analysis

Discriminant analysis uses hyperplanes to separate classes allocated to groups using maximum likelihood rule. It is a multivariate technique to discriminate 2 or more groups and algorithm is fast, precise, and easily interpretable. In addition, discriminant analysis is proper for large datasets. In order to train a classifier, different Gaussian distributions are generated, and fitting function predicts the parameters of those distribution. Linear and Quadratic Discriminant Analysis are commonly used algorithms. Quadratic Discriminant Analysis (QDA) uses quadratic decision boundaries and prediction ability is higher in accordance with Linear Discriminant Analysis (LDA). QDA estimates the covariance matrix for each input classes [18].

Logistic Regression

Logistic Regression (LR) a 2 classes classification algorithm and gives binary solution. LR models the class probabilities uses logistic function that is the linear combination of predictors [5].

Gaussian Naïve Bayes

Naive Bayes (NB) is a classifier that used for pattern recognition problems and based on Bayes theory. In NB classification, a certain amount of trained data is initially applied. The data applied for training should have whether class or category. Within probability operations on trained data, category of the new test data is determined according to probability values. The more the number of trained data, the more accurate it can be to identify the correct category of test data. In this study, Gaussian distributor is used for numeric predictors and multivariate multinomial distribution is applied for categorical predictors [19].

Cubic Support Vector Machine

Statistical learning based SVM was firstly applied by Cortes and Vapnik for binary classification. The purposes within SVM are to the transport nonlinear separable samples to higher dimension by using kernel functions and determine a hyperplane that will separate the samples by help of solving quadratic optimization problems [20]. In current study, cubic kernel function is preferred. Kernel scale is specified as automatic and box constraint level equals to 1. One vs. one multiclass method is applied for discrimination focal and non-focal EEG records.

Weighted k-Nearest Neighbors

It is parametric, non-linear, and partially simple classification algorithm. k-NN may outperforms for large datasets. Algorithm works according to the similarity of training and test data sets to each other. Assignment of any data point to any class is realized by checking k neighbors close to related data point. If we choose k as very small, the algorithm could be very sensitive. If the k is selected too large, one class can include too many data points from other classes. In weighted k-NN, every neighbor sample has a weight according to its distance to the test sample. Closer points have bigger weights in the voting. In proposed study, number of neighbors is 10, distance metric is 'Euclidean' and distance weight is selected as 'squared inverse', namely weight is $1/distance^2$ [21].

Bagged Trees

Bagged Trees are one of ensemble classifier that use Random Forest Bag with Decision Tree learners. In this study, the algorithm [22] proposed by Breiman is applied to features sets. Bagging is generally preferred to reduce the variance of a decision tree. Several subsets are randomly selected from training sample and each of subsets is used to train its decision trees. Finally, we sum up within an ensemble including different models. Predictions from trees are averaged and a robust prediction is achieved rather than single decision tree. In short, ensemble method is Bag, learner type is Decision tree and number of learners is determined as 30.

Performance Metrics

In order to evaluate the classification performance, accuracy, sensitivity, specificity, F1-score and area under the ROC curve (AUC) are calculated. Calculation of performance metrics is given by Table 1.

Accuracy is the correctly labelled feature sets. Sensitivity is defined as proportion of correctly positive features. Specificity is the ratio of negative instances which are correctly estimated as negative. F1- score is a metric that is combination of TPs, FP, and FN. Calculation of F1-score is given with Eq. 7.

$$F1 - score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (7)$$

Results and Discussion

In current study, a single EEG marker of MFCC is utilized for discrimination of focal and non-focal EEG records. 7 different classifiers are performed and confusion matrices for each classifier are given in Table 2-3 in case of before/after PCA and z-normalization process. Extracted features are also compared in Fig. 4 with given sample patterns. Quadratic Discriminant Analysis, Logistic Regression, Cubic SVM and Weighted k-NN performs perfectly with acc., sen., spe., and F1-score of 100% and AUC with 1 as it can be seen in Table 3. Classification performances are all increased with use of PCA and z-normalization. All focal EEG pairs are correctly classified, but some of non-focal EEGs misclassified in Gaussian Naïve Bayes

algorithm. Performance metrics obtained from Fine Tree and Bagged Trees are relatively lower, but still convincing results are achieved.

Most relevant studies published between 2016-2021 based on Bern-Barcelona Dataset are listed in Table 4. Many of studies are included 3750 pairs of focal / non-Focal EEG pairs, and minority of the methods are performed with 50 pairs. EEG markers are composed of wavelet transform, empirical mode decomposition, entropies, Fourier transform, and spectral features. Deep learning-based features are also utilized in previous studies. Support Vector Machines, Neural Network classifiers and k- nearest neighbors are observed as frequently applied as conventional methods besides deep neural networks. 10-fold cross validation is also common method to divide train and test sets. Madhavan et al. [8] achieved best performance with acc., sen., and spe., over 99% using 2D deep CNN within synchro-squeezing transform. Arunkumar et al. [7] proposed entropy algorithms using conventional classifiers and achieved acc., sen., and spe. of 99%. We here achieved highest possible performance withing 100% of acc., sen., spe., and F1-score. Studies in literature included many features and attempted to reach conclusive set of features for a consensus. Proposed work includes MFCCs as a single marker and this provides less computation workload, practicality, and direct processing of EEG time series. Moreover, most of the classifiers performs high and none of algorithms fails to discriminate focal / non-focal EEGs. This is a good indicator for the robustness of proposed algorithm. z-score normalization and finding relevant subsets of features within PCA are one of crucial steps to increase classification performances.

The current study has some limitations as follows: even if MFCCs provide adequate results, combination of markers suggested by literature studies can also joined within or without MFCCs and contribution of these coefficients can be more clear for discrimination of focal / non-focal EEGs. Parameters for classifiers are chosen empirically; moreover, optimal parameters may be included to observe effects on performance metrics.

Conclusion

In current study, MFCCs are extracted directly from focal / non-focal EEG time series to analyze unpredictable and non-linear behavior of related signals. All focal and non-focal epochs are fully discriminated. Proposed method serves one of the highest achievements to literature and can assist neurologist and physicians to validate their diagnosis. Same approach can be applied not only to focal / non-focal EEGs but also other types of seizures including preictal, interictal and ictal EEG. Different neurological diseases such as Alzheimer's and Parkinson's disease, schizophrenia, or strokes may be diagnosed within proposed methods. Eventually, treatment stage can be accelerated. In future works, MFCCs feature matrices can be applied directly to input of deep neural networks, or some image conversion methods will be applied to coefficients in frequency domain as another option for evaluation of deep neural architectures.

Table 1. Performance metrics for classification evaluation

		Predicted		
		Positive	Negative	
Actual	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)	Sensitivity $\frac{TP}{TP + FN}$
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{TN + FP}$
		Precision $\frac{TP}{TP + FP}$	Recall $\frac{TP}{TP + FN}$	Accuracy $\frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}$

Table 2. Performance metrics for Focal / Non-focal binary EEG Classification before PCA and z-normalization

Classifier	Observed Class	Predicted Class		Performance Metrics				
		Focal	Non-focal	Acc.	Sen.	Spe.	F1-score	AUC
Fine Tree	Focal	2499	1251	65.5	66.6	64.2	65.8	0.71
	Non-focal	1338	2412					
Quadratic Discriminant Analysis	Focal	1571	2179	57.4	41.8	72.8	49.5	0.63
	Non-focal	1017	2733					
Logistic Regression	Focal	2710	1040	69.7	72.2	67.1	70.4	0.76
	Non-focal	1232	2518					
Gaussian Naive Bayes	Focal	1571	2179	57.4	41.8	72.8	49.5	0.63
	Non-focal	1017	2733					
Cubic SVM	Focal	2912	838	69.3	77.6	60.8	71.5	0.75
	Non-focal	1467	2283					
Weighted k-NN	Focal	2194	1556	58.6	58.5	58.7	58.5	0.63
	Non-focal	1548	2202					
Bagged Trees	Focal	2653	1097	66.8	70.7	62.8	68	0.74
	Non-focal	1395	2355					

Table 3. Performance metrics for Focal / Non-focal binary EEG Classification after PCA and z-normalization

Classifier	Observed Class	Predicted Class		Performance Metrics				
		Focal	Non-focal	Acc.	Sen.	Spe.	F1-score	AUC
Fine Tree	Focal	3733	17*	99.6	99.62	99.57	99.58	1
	Non-focal	14*	3736					
Quadratic Discriminant Analysis	Focal	3750	0	100	100	100	100	1
	Non-focal	0	3750					
Logistic Regression	Focal	3750	0	100	100	100	100	1
	Non-focal	0	3750					
Gaussian Naive Bayes	Focal	3750	0	99.9	99.76	100	99.88	1
	Non-focal	9*	3741					
Cubic SVM	Focal	3750	0	100	100	100	100	1
	Non-focal	0	3750					
Weighted k-NN	Focal	3749	1*	100	99.97	99.97	99.96	1
	Non-focal	1*	3749					
Bagged Trees	Focal	3741	9*	99.7	99.62	99.75	99.66	1
	Non-focal	14*	3736					

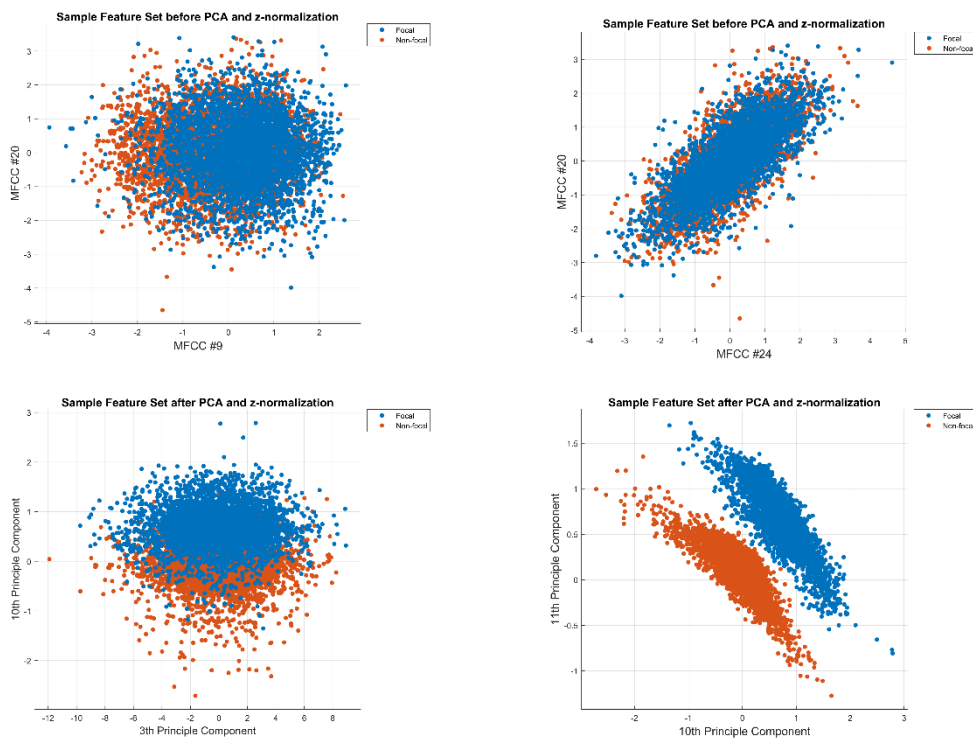


Figure 4. Extracted features before/after PCA and z-normalization given with sample patterns

Table 4. Studies in literature view for focal / non focal EEG Classification

Authors (Year)	EEG Dataset	EEG Markers	Classifiers/ Cross Validation	Performance Metrics
Sairamya et al. (2021) [1]	3750 F 3750 N	Wavelet Package Decomposition, Quad Binary Pattern Entropies	ANN/10-fold cross Validation	Acc. =95.74% Sen. =81.94% Spe. = 78.81%
Sharma et al. (2020) [23]	3750 F 3750 N	Third-order cumulant	SVM with cubic kernel /10-fold cross validation	Acc.=99% Sen. =98.68% Spe. =99.32% F-score =0.99
You et al. (2020) [6]	3750 F 3750 N	Flexible Analytic Wavelet Transform, Log energy entropy, Fuzzy distribution entropy	GRNN, RF, SVM, LS-SVM, KNN, fuzzy KNN/10-fold cross validation	Acc=94.80% Sen. =92.27% Spe. =96.10%
San-Segundo et al. (2019) [4]	3750 F 3750 N/ Bonn	Fourier Transform, Wavelet Transform, Empirical Mode Decomposition	CNN	Healty vs. Ictal Acc=99.8% Non-ictal vs. Ictal Acc=99.5% Healty vs. Interictal Acc=96.5% Healty vs. Interictal vs. Ictal Acc=95.7%
Rahman et al. (2019)[10]	3750 F 3750 N	Variational Mode Decomposition, Discrete Wavelet Transform, Refined Composite Multiscale Dispersion, Refined Composite Multiscale Fuzzy Entropy, Autoregressive Model Coefficient	Stacked SVM/5-fold cross validation	Acc=95.2% Sen. =96.1% Spe. =94.4% AUC=0.989
Raghu and Sriraam (2018) [11]	3750 F 3750 N	NCA with 28 features	SVM, KNN, RF, AdaBoost /10-fold cross validation	Acc=96.1% Sen. =97.6% Spe. =94.4% AUC=0.96
Gupta and Pachori (2020) [24]	3750 F 3750 N	Wavelet Transform, Corr-entropy, Exponential Energy	LS-SVM/10-fold cross validation	Acc=95.85% Sen. =95.47% Spe. =96.24%
Tjepkema-Clostermans et al. (2018) [9]	50 F 50 N	Deep Neural Network Features	Combinations of convolutional and recurrent neural networks	AUC =0.94
Das and Bhuiyan (2016) [3]	3750 F 3750 N	EMD-DWT, log energy entropy	k-NN city block distance	Acc=89.4% Sen. =90.7% Spe. =88.1%
Arunkumar et al. (2018) [7]	50 F 50 N	Entropies	Naive Bayes, Radial Based Function, Best First Decision Tree, KNN, SVM, Non- Nested	Acc=99% Sen. =99%

				Generalized Exemplars/ 10-fold cross validation	Spe. =99%
Fraiwan and Alkhodari (2020) [2]	3750 F 3750 N	Bi-directional Long Short Term Memory		BDLSTM/4,6,10-fold cross validation	Acc. =99.24% Sen. =99.55% Spe. =99.65%
Siddharth et al. (2019) [25]	3750 F 3750 N	Sliding Mode -Singular Spectrum Analysis		Sparse-autoencoder Radial Bases Function Neural Network/10-fold cross validation	Acc=99.11% Sen. =98.52% Spe. =99.70%
Chetterje et al. (2017) [26]	50 F 50 N	Multifractal Detrended Fluctuation Analysis		KNN, SVM/10-fold cross validation	Acc=92.18% Sen. =92.50% Spe. =92.69%
Bajaj et all (2017) [27]	750 F 750 N	Rhythm Based Correlation Features		LS-SVM/10-fold cross validation	Acc=99.20% Sen. =99.73% Spe. =98.68%
Madhavan et al. (2020) [8]	3750 F 3750 N	Synchro-squeezing Transform		2D Deep Convolutional Neural Network/ 5-fold cross validation	Acc=99.94% Sen. =99.94% Spe. =99.94%
Bhattacharrya et al. (2016) [28]	50 F 50 N/ 750 F 750 N	Empirical Wavelet Transform		Least square SVM/10-fold cross validation	Acc=90% Sen. =88% Spe. =92% (50 pairs)
Zeng et al. (2019) [29]	50 F 50 N/ 3750 F 3750 N	Empirical mode Decomposition, Phase Space Reconstruction		Least square SVM/10-fold cross validation	Acc=96% (50 pairs)
Sriraam and Raghu (2017) [12]	3750 F 3750 N	21 Multi features		SVM/10-fold cross validation	Acc. =92.15% Sen. =94.56% Spe. =89.74%
Current Study:	3750 F 3750 N	MFCC		Fine Tree, Quadratic Discriminant Analysis, Logistic Regression, Gaussian Naïve Bayes, Cubic Support Vector Machine, weighted k-NN, Bagged Trees / 10-fold cross validation	Acc. = Sen. = Spe. = F1-score = 100% AUC=1

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared

Authors' Contributions

Seker D: Study conception and design, visualization, analysis, and interpretation of data, drafting of manuscript

Ozerdem MS: conceived the original idea, supervised the project, critical revision

Acknowledgement

We special thank to Andrzejak RG, Schindler K, and Rummel C for providing Bern-Barcelona EEG Dataset publicly.

References

- [1] N. J. Sairamy, M. S. P. Subathra, E. S. Suviseshamuthu, and S. Thomas George, "A new approach for automatic detection of focal EEG signals using wavelet packet decomposition and quad binary pattern method," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 63, p. 102096, 2021.
- [2] L. Fraiwan and M. Alkhodari, "Classification of Focal and Non-Focal Epileptic Patients Using Single Channel EEG and Long Short-Term Memory Learning System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 77255–77262, 2020.
- [3] A. B. Das and M. I. H. Bhuiyan, "Discrimination and classification of focal and non-focal EEG signals using entropy-based features in the EMD-DWT domain," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 29, pp. 11–21, 2016.
- [4] R. San-Segundo, M. Gil-Martín, L. F. D'Haro-Enríquez, and J. M. Pardo, "Classification of epileptic EEG recordings using signal transforms and convolutional neural networks," *Comput. Biol. Med.*, vol. 109, no. March, pp. 148–158, 2019.
- [5] M. Şeker, Y. Özbek, G. Yener, and M. S. Özerdem, "Complexity of EEG Dynamics for Early Diagnosis of Alzheimer's Disease Using Permutation Entropy Neuromarker," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 206, p. 106116, 2021.
- [6] Y. You, W. Chen, M. Li, T. Zhang, Y. Jiang, and X. Zheng, "Automatic focal and non-focal EEG detection using entropy-based features from flexible analytic wavelet transform," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 57, p. 101761, 2020.
- [7] N. Arunkumar, K. Ram Kumar, and V. Venkataraman, "Entropy features for focal EEG and non focal EEG," *J. Comput. Sci.*, vol. 27, pp. 440–444, 2018.
- [8] S. Madhavan, R. K. Tripathy, and R. B. Pachori, "Time-Frequency Domain Deep Convolutional Neural Network for the Classification of Focal and Non-Focal EEG Signals," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 3078–3086, 2020.
- [9] M. C. Tjepkema-Cloostermans, R. C. V. de Carvalho, and M. J. A. M. van Putten, "Deep learning for detection of focal epileptiform discharges from scalp EEG recordings," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 129, no. 10, pp. 2191–2196, 2018.
- [10] M. M. Rahman, M. I. Hassan Bhuiyan, and A. B. Das, "Classification of focal and non-focal EEG signals in VMD-DWT domain using ensemble stacking," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 50, pp. 72–82, 2019.
- [11] S. Raghu and N. Sriraam, "Classification of focal and non-focal EEG signals using neighborhood component analysis and machine learning algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol. 113, pp. 18–32, 2018.
- [12] N. Sriraam and S. Raghu, "Classification of Focal and Non Focal Epileptic Seizures Using Multi-Features and SVM Classifier," *J. Med. Syst.*, vol. 41, no. 10, 2017.
- [13] E. Yavuz, M. C. Kasapbaşı, C. Eyüpoğlu, and R. Yazıcı, "An epileptic seizure detection system based on cepstral analysis and generalized regression neural network," *Biocybern. Biomed. Eng.*, vol. 38, no. 2, pp. 201–216, 2018.
- [14] R. G. Andrzejak, K. Schindler, and C. Rummel, "Nonrandomness, nonlinear dependence, and nonstationarity of electroencephalographic recordings from epilepsy patients.," *Phys. Rev. E. Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 86, no. 4 Pt 2, p. 46206, Oct. 2012.
- [15] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, "From frequency to quefrency: A history of the cepstrum," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 21, no. 5, pp. 95–100, 2004.
- [16] F. Artoni, A. Delorme, and S. Makeig, "Applying dimension reduction to EEG data by Principal Component Analysis reduces the quality of its subsequent Independent Component decomposition," *Neuroimage*, vol. 175, no. September 2017, pp. 176–187, 2018.
- [17] A. Navada, A. N. Ansari, S. Patil, and B. A. Sonkamble, "Overview of use of decision tree algorithms in machine learning," in *2011 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium*, 2011, pp. 37–42.
- [18] B. V Canizo, L. B. Escudero, R. G. Pellerano, and R. G. Wuilloud, "10 - Quality Monitoring and Authenticity Assessment of Wines: Analytical and Chemometric Methods," in *Quality Control in the Beverage Industry*, A. M. Grumezescu and A. M. Holban, Eds. Academic Press, 2019, pp. 335–384.
- [19] Siuly, H. Wang, and Y. Zhang, "Detection of motor imagery EEG signals employing Naïve Bayes based learning process," *Measurement*, vol. 86, pp. 148–158, 2016.
- [20] L. C. Djoufack Nkengfack, D. Tchiotsop, R. Atangana, V. Louis-Door, and D. Wolf, "EEG signals analysis for epileptic seizures detection using

- polynomial transforms, linear discriminant analysis and support vector machines,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 62, p. 102141, 2020.
- [21] Y. Tang, L. Jing, H. Li, and P. M. Atkinson, “A multiple-point spatially weighted k-NN method for object-based classification,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 52, pp. 263–274, 2016.
- [22] L. Breiman, “Random Forests,” *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [23] R. Sharma, P. Sircar, and R. B. Pachori, “Automated focal EEG signal detection based on third order cumulant function,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 58, p. 101856, 2020.
- [24] V. Gupta and R. B. Pachori, “Classification of focal EEG signals using FBSE based flexible time-frequency coverage wavelet transform,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 62, no. August, p. 102124, 2020.
- [25] T. Siddharth, R. K. Tripathy, and R. B. Pachori, “Discrimination of Focal and Non-Focal Seizures from EEG Signals Using Sliding Mode Singular Spectrum Analysis,” *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 24, pp. 12286–12296, 2019.
- [26] S. Chatterjee, S. Pratiher, and R. Bose, “Multifractal detrended fluctuation analysis based novel feature extraction technique for automated detection of focal and non-focal electroencephalogram signals,” *IET Sci. Meas. Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 1014–1021, 2017.
- [27] V. Bajaj, K. Rai, A. Kumar, D. Sharma, and G. K. Singh, “Rhythm-based features for classification of focal and non-focal EEG signals,” *IET Signal Process.*, vol. 11, no. 6, pp. 743–748, 2017.
- [28] A. Bhattacharyya, M. Sharma, R. B. Pachori, P. Sircar, and U. R. Acharya, “A novel approach for automated detection of focal EEG signals using empirical wavelet transform,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 8, pp. 47–57, 2018.
- [29] W. Zeng, M. Li, C. Yuan, Q. Wang, F. Liu, and Y. Wang, “Classification of focal and non focal EEG signals using empirical mode decomposition (EMD), phase space reconstruction (PSR) and neural networks,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 52, no. 1, pp. 625–647, 2019.



Banka Ödemelerinde Dolandırıcılığın Çizge Madenciliği ve Makine Öğrenimi Algoritmalarıyla Tespiti

Detection of Fraud in Bank Payments Using Graph Mining and Machine Learning Algorithms

Hande ÇAVŞI ZAIM^{1,*}, Esra Nergis YOLAÇAN², Eyyüp GÜLBANDILAR³

¹ Eskişehir OsmanGazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID iD 0000-0002-9032-5145

² Eskişehir OsmanGazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID iD 0000-0002-1655-0993

³ Eskişehir OsmanGazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID iD 0000-0001-5559-5281

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 8 Ağustos 2021
Revizyon 14 Eylül 2021
Kabul 25 Eylül 2021
Online 28 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

Dolandırıcılık Tespiti, Çizge Madenciliği, Veri Analizi, Makine Öğrenimi Algoritmaları, Çizge Madenciliği Algoritmaları

Günümüzde, şirketler gelecekte yapmayı planladıkları işleri içeren çok sayıda önemli verilerini elektronik ortamlarda saklamaktadırlar. Saldırı durumunda ise hem şirkete hem de bireylere zarar verebilecek finansal bilgiler hedef alınmaktadır. Bu saldırı türlerinden biri de banka ödemelerinde meydana gelen dolandırıcılık saldırıdır. Grafik veri bilimi kullanılması, mevcut analitik ve makine öğrenimi ardışık düzenlerini güçlendirerek, var olan dolandırıcılık tespit yöntemlerinin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada İspanya'daki bir banka ödeme bilgi simülasyonundan oluşturulan BankSim veri kümesi kullanılmıştır. BankSim üzerinde bulunan normal ödemeler ve sahte veriler sınıflandırılarak dolandırıcılık tespiti gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Sınıflandırma için Python dilinde RandomForest (RF), Support Vector Machine SVM, XGBoost (XGB), K-Nearest Neighbors (k-NN) sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Performans değerlendirmeleri için K-katlamalı çapraz doğrulama kullanılmıştır. Çizge madenciliği için Neo4j veritabanı kullanılmış ve Neo4j sorgu dili olarak CypherQL kullanılmıştır. Bu dolandırıcılık tespitinin uygulanması ile daha az hileli işlem ve daha güvenilir bir gelir akışı elde edilmiştir. Çizge madenciliği aşamasında PageRank, Community, degree gibi çizge algoritmaları ile birlikte standart makine öğrenimi yöntemi ile elde edilen sonuçlar optimize edilmiştir. Bu açıdan çizge madenciliği ve makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanılmasının diğer yöntemlere kıyasla doğruluk oranlarının daha yüksek olduğu ve daha hızlı sürede hesap yapan bir yöntem olduğu ispatlanmıştır.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 08.08.2021
Received in revised form
09.08.2021
Accepted 14.09.2021
Available online

Keywords:

Fraud Detection, Graph Mining, Data Mining, Machine Learning Algorithms, Graph Mining Algorithms.

Doi: 10.24012/dumf.1002110

* Sorumlu Yazar

Today companies keep a large number of important data, including the work they plan to do in the future, electronically. In many cases, financial information is stolen that can harm the entire company or individual. One of these types of fraud occurs in bank payments. The use of graph data science augments existing analytics and machine learning pipelines, increasing the accuracy and applicability of existing fraud detection methods. In this study, BankSim dataset created from a bank payment information simulation in Spain was used. It is aimed to detect fraud by classifying normal payments and injected fraud signatures on BankSim. RandomForest (RF), SVM, XGBoost (XGB), K Nearest Neighbors (k-NN) classification algorithms in python language were used for classification. K-fold cross validation was used for performance evaluations. Neo4j database was used for graph analysis and CypherQL was used as Neo4j query language. The implementation of this fraud detection has resulted in fewer fraudulent transactions and a more reliable revenue stream. The performances of SVM, RF, XGB, k-NN algorithms were evaluated for fraud detection in bank payments, and the performance of the algorithms was compared according to the K-Fold cross-validation results in terms of performance. In the graph mining phase, the results obtained with the standard machine learning method were optimized together with graph algorithms such as PageRank, Community, and degree. In this respect, it has been proven that the use of graph mining and machine learning algorithms together has higher accuracy rates compared to other methods and is a method that calculates in a faster time.

Giriş

Bankalar ve sigorta şirketleri her yıl dolandırıcılık nedeniyle milyonlarca dolar zarara uğramaktadırlar. Geleneksel dolandırıcılık tespit yöntemleri, bu kayıpların en aza indirilmesinde önemli bir rol oynasa da giderek daha karmaşık hale gelen dolandırıcılık saldırıları hem birlikte çalışarak hem de sahte kimlikler inşa etmenin çeşitli yollarını kullanarak tespit edilmesi zor hale gelmiştir [1]. Hiçbir dolandırıcılık önleme yöntemi mükemmel olarak çalışmasa da tek tek veri noktalarının ötesinde onları birbirine bağlayan bağlantılara bakılarak önemli iyileştirme fırsatları yakalanabilir [2]. Çizge veri madenciliği, alt grafikler üzerinde yoğunlaşan ve sık model madenciliğinden türemiştir ve çizge alt grafik madenciliği, çizge madenciliğinin popüler bir uzantısıdır [3, 4, 5]. Standart makine öğrenimi yöntemleri çeşitli veri kaynaklarından veri toplanması ve bunun sonucunda artan veri boyutunu işlemek ve görselleştirmek konusunda yetersizdir [6, 7]. Ayrıca gelişen dolandırıcılık saldırıları karşısında standart makine öğrenimi yöntemleri bu saldırıdaki sahte işlemlerin bazılarını yakalayamayabilir. Bu problemlere çözüm olarak bu çalışmada çizge veri tabanlarının ve çizge algoritmalarının kullanılmasıyla dolandırıcılık tespitinde mevcut olarak kullanılan makine öğrenimi yöntemlerinin doğruluğunun artırılması ve çalışmanın uygulanabilirliğinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada BankSim veri seti üzerinde bulunan normal ödemeler ve sahte ödemeler RF, SVM, XGB, k-NN sınıflandırma algoritmalarıyla sınıflandırılmıştır. Dolandırıcılık tespiti gerçekleştirilmesi amacıyla klasik makine öğrenimi algoritmaları ve çizge veri tabanları kullanılarak geleneksel dolandırıcılık tespiti yöntemleriyle tespit edilmesi zor olan dolandırıcılık işlemlerinin tespit edilmesi ve veriler arasındaki ilişkinin diğer yöntemlere kıyasla daha iyi ifade edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, makine öğrenimi tekniklerinin çizge madenciliği algoritmalarıyla birlikte kullanılması sonucu dolandırıcılık tespiti işlemlerinin performansı üzerinde nasıl bir etkisi olduğu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sunulan çalışma bu alanda çizge madenciliği ve makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edebileceğini gösterme konusunda literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın literatür taraması bölümü kredi ve banka kartı işlemleri için dolandırıcılık tespiti yapan literatürdeki güncel çalışmaları sunmaktadır. Metodoloji bölümünde çalışmada kullanılan veri setine, sınıflandırma algoritmalarına, veri ön işleme yöntemlerine ve kullanılan araçlara genel bir bakış açısıyla yer verilmektedir. Neo4j ve veri seti bölümü veri setinin detaylarını, Neo4j aracının tanımını ve veri setinin görselleştirilmesinde kullanılması konularını içermektedir. Veri ön işleme bölümü veri ön işleme aşamalarının detaylarını içermektedir. Makine öğrenimi ve çizge algoritmaları bölümü kullanılan makine öğrenimi sınıflandırma algoritmaları ve çizge algoritmalarının detaylarını içermektedir. Son olarak Dolandırıcılık tahmininde yanlış pozitifleri azaltmak amacıyla Roy ve ark. [12] otomatik özellik mühendisliği tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Bu çalışmada yazarlar işlemlerle ilişkili

yapılan deney sonuçlarına deney sonuçları bölümünde yer verilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde aynı ön işleme ve veri seti kullanan makine öğrenimi yöntemlerinin sonuçlarıyla birlikte listelenmiştir.

Literatür taraması

Son yıllarda dijital ödemelerdeki benzeri görülmemiş büyüme, dolandırıcılık ve mali suçlarda önemli değişiklikleri tetiklemiştir. Bu yeni ortamda kural tabanlı gibi geleneksel tespit yaklaşımları ise, büyük ölçüde etkisiz hale gelmiştir ve yapay zekâ makine öğrenimi çözümleri büyük ilgi görmüştür. Kurshan ve ark. [8] dolandırıcılık ve mali suç tespitinde grafik tabanlı çözümlerin karşılaştığı yaygın uygulama hususlarına ve kapsamlı uygulama zorluklarına genel bir bakış açısı sunmuştur. Çalışmada ödeme dolandırıcılığı, kimlik hırsızlığı, mali ve eski dolandırıcılar, hesap devralma, sentetik kimlik ve hesap dolandırıcılığı, kara para aklama ve diğer dolandırıcılık türlerine değinilmiştir. Dolandırıcılık algılama tekniklerinden veri madenciliği, grafik anormalliği algılama, denetimli ve denetimsiz alt grafik analizi, akış ve yol analizi, grafik tabanlı makine öğrenimi yöntemleri incelenmiştir. Dolandırıcılık tespitinde manuel yöntemlerin kullanılması özellik çıkarma işlemi aşamasında alan bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum ise, çevrim içi dolandırıcılık tespiti sistemindeki dolandırıcılık davranışlarına en yakın dolandırıcılık davranış modellerine odaklanmayı gerektirir. Bu nedenle [9] kredi kartı dolandırıcılık tespiti için mekansal-zamansal dikkat tabanlı bir grafik ağı (STAGN) modeli önerilmiştir. Daha sonra 3 boyutlu bir evrişim ağına beslenen öğrenilmiş temsillerinin üzerine uzamsal-zamansal dikkat kullanılmıştır. Dikkat ağırlıkları evrişim ve algılama ağları ile uçtan uca olacak şekilde birlikte öğrenilir. Gerçek kelime kart işlemi veri seti üzerinde kapsamlı deneyler yapılmıştır ve STAGN'nin hem AUC (Area Under the Curve) hem de hassas geri çağırma (recall) eğrilerinde diğer son teknolojilere kıyasla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. STAGN öngörücü model olarak dolandırıcılık tespit sistemine entegre edilmiş ve sistemdeki her modelin uygulama detayı sunulmuştur.

Konum tabanlı grafik gösterimini öğrenmeye ilişkin son çalışmalar yan bilgi ile veriyi gömme ve gelişmiş bilginin korunması olarak iki yönde incelenmiştir [10]. Düşük boyutlu temsillerini öğrendiklerinde düğümlerle ilişkili zengin bilgileri (ör; metin, konum kodları) hesaba katan TADW'yi önermişlerdir. Bu ağ, ağ hakkındaki yan bilgileri (düğüm içerikleri ve kenar içerikleri) içermektedir.

Xie ve Yin [11]'de konuma dayalı bir öneri sistemi için çizge tabanlı point of interest (POI) yerleştirmeyi öğrenen bir sistem önermişlerdir. Konum tabanlı grafiklerin temsillerini öğrenebilen gelişmiş ağ yerleştirme yöntemleri kullanılarak ilk çabalar gerçekleştirilmiş olsa da konum tabanlı grafik temsillerini koruyarak dolandırıcılık işlemlerini tespit etmeye odaklanan çok az çalışma bulunmaktadır.

kartın geçmiş verilerine dayalı olarak davranış özelliklerini otomatik olarak türetmek için derin özellik sentezi algoritmasını kullanmışlardır. Oluşturulan özellikler rastgele

orman tekniği kullanılarak bir sınıflandırıcı tarafından öğrenilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yanlış pozitif oranında %54 düşüş gözlemlenmiştir.

Vidanelage ve ark. [13] tarihle sınırlı olmayan sentezlenmiş veri seti kullanarak çoklu makine öğrenme teknikleri yürütmüş ve açık kaynak veri bilimi araçları kullanarak beklentilerin üzerinde sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada veri seti olarak İspanya'daki bir bankanın verileri baz alınarak oluşturulmuş BankSim veri seti kullanılmıştır ve k-NN, Çok katmanlı algılayıcı (MLP), Gauss Naive Bayes (GNB), Multinomial Naive Bayes (MNB) gibi 4 farklı makine öğrenimi algoritması dolandırıcılık tespiti için kullanılmıştır. MLP en yüksek doğrulukta sonucu vermiştir.

Dolandırıcılık tespitini iyileştirmek için Carcillo ve ark., [14]'de hem denetlenen hem de denetimsiz yöntemleri birleştiren karma bir teknik önermişlerdir. Araştırmacılar dolandırıcılık modellerinin geçmişin analizinden öğrenilebileceği varsayımından yararlandıkça denetimli bir öğrenmenin mümkün olacağı beklenmiştir. Ancak müşteri davranışındaki ve dolandırıcıların yeteneklerindeki değişiklikler yeni dolandırıcılık kalıpları ürettiğinde zorluklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu durumda denetimsiz öğrenme bu zorluklara yardımcı olabilir. Yazarlar çözüm olarak bu iki tekniği birleştiren hibrit bir yöntem kullanmışlardır ve sonuçlar verimli olmuştur.

Lebichot ve ark., [15]'de dolandırıcılık tespitinde kullanılmak üzere iki orijinal transfer öğrenme modeli önermişlerdir. Çalışma, sahtekarlık algılama alanında daha gelişmiş teknikleri incelemiştir. E- ticaret işlemleri kaynak ve yüz yüze işlemler sırasıyla kaynak ve hedef alan olarak ele alınmıştır. İstatistiksel testlere dayanarak önerilen modeller daha önceden önerilen tüm diğer modellerden daha iyi performans göstermiştir.

Wang ve Zhu, [16]'da e-ticaret işlemlerinden kaynaklı artan çevrim içi ödeme dolandırıcılık tespitine çözüm olarak, işlem özelliklerinin birlikte oluşma ilişkilerini modelleyerek etkili bir veri geliştirme planı önermişlerdir. Düşük kaliteli davranışsal verileri kullanarak yüksek çözünürlüklü davranış modelleri oluşturmak büyük bir zorluktur. Bu çalışmada bu

sorun esas alınarak bir bilgi grafiği kullanılmış ve işlem niteliklerinin birliktelik ilişkileri kapsamlı bir şekilde belirtilmiştir. Önerilen yöntemin performansı ticari bir bankadan gerçek veri seti üzerinde yapılan deneylerle doğrulanmıştır. Bu çalışma öznelik düzeyinden ağ yerleştirme algoritmaları çeşitlendirilmiş davranış modelleri için veri gerçekleştirmeye yönelik ilk çalışmadır. Önerilen yöntemin son teknoloji sınıflandırıcılardan daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Shiguihara ve ark., [17]'de dolandırıcılık tespiti için denetimli makine öğrenme tekniklerini kullanmıştır. Alanla ilgili kısıtlamalar kullanılarak dolandırıcılık tespiti için olasılıklı bir grafik model oluşturulması amacıyla bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada BankSim veri seti üzerinde K2 arama, Hill-Climbing, Simulated Annealing gibi Bayes Ağları algoritmaları kullanılmıştır.

Lopez ve Axelsson, [18]'de Banksim veri seti üzerinde k-NN, XGB, RF makine öğrenimi algoritmaları kullanarak dolandırıcılık tespiti gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada dengesiz veri seti undersampling yöntemiyle dengeli hale getirilmiştir. K-NN precision (hassasiyet) değeri 0.83, recall (duyarlılık) değeri 0.61, f1 skor değeri 0.70 olarak bulunmuştur. Aynı değerler sırasıyla XGB için; 0.89, 0.76, 0.82 olarak bulunurken, RF için aynı değerler sırasıyla; 0.24, 0.98, 0.82 olarak bulunmuştur.

Islam, [19]'da kredi ödemelerindeki sahtecilik tespiti için etkili yöntemleri ve makine öğrenimi algoritmalarını ele almıştır. Banksim veri seti üzerinde undersampling yöntemi ile veri setini dengeledikten sonra k-NN için kesinlik değerini 0.80, SVM için kesinlik değerini 0.77, RF için kesinlik değerini 0.93 olarak elde etmiştir. K-NN için precision, recall, f skor değerleri sırasıyla; 0.80, 0.80, 0.79 olarak, SVM için aynı değerler sırasıyla; 0.76, 0.77, 0.76 olarak, RF için aynı değerler sırasıyla; 0.93, 0.93 ve 0.93 olarak elde edilmiştir.

Tablo 1.'de incelenen literatür çalışmalarının bir karşılaştırılması sunulmaktadır. Olasılıklı grafik modellerin diğer temel tekniklere göre %99.272 doğrulukla daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Literatür Taraması.

Referans	Methodlar	Algoritmalar	Veri Seti	Metrikler
Lopez ve Axelsson, 2014 [18]	Makine Öğrenmesi	RF, XGB, k-NN	Banksim	Precision, Recall, F1 Skor
Yang ve ark., 2015 [10]	TADW (Metin Tabanlı Derin Yürüyüş)	Derin Yürüş PLSA Transdüktif SVM SVM	Cora, Wiki, Citeseer	Matrix Çarpanlara Ayırma
Xie ve ark., 2016 [11]	POI (Grafik tabanlı ilgi noktası iyileştirme)	İki parçalı grafik gömme optimizasyon ortak yerleştirme öğrenim	Foursquare, Gowalla	Precision Recall Accuracy Rank
Roy ve ark., 2017 [12]	Derin Öğrenme	Yapay Sinir Ağları Özyinelemeli Sinir Ağları Uzun-kısa vadeli bellek Geçişli Özyinelemeli Birim	Parakende bankacılık yapan bir firmanın hesap ve işlem ayrıntıları	Precision Recall Accuracy
Shiguihara ve ark., 2018 [17]	Makine Öğrenmesi	Naive Bayes (NB) Hill-Climbing Simulated Annealing K2 Arama	Banksim	Precision Recall Accuracy
Islam., 2018 [19]	Makine Öğrenmesi	k-NN, SVM, RF	Banksim	Precision Recall F skor Accuracy
Lebichot ve ark., 2019 [15]	Derin transfer öğrenme	Derin sinir ağı algoritmaları	Bir kuruluş tarafından elde edilmiş 5 aylık e-ticaret ve yüz yüze işlem bilgileri	Precision Recall AUC-PR
Wang ve Zhu., 2020 [16]	İşlem kayıtlarının grafik gösterimi Network embedding Dolandırıcılık tespit modelleri	Çok-ajanlı davranışsal modeller Tek-ajanlı davranışsal model Lojistik regresyon (LR) RF, XGB, CNN, NB	Çin'deki ticari bankalar tarafından elde edilmiş 3 aylık B2C ve C2C işlem kayıtları	Precision Recall AUC-ROC
Cheng ve ark., 2020 [9]	Mekansal-zamansal dikkat tabanlı bir grafik ağı (STAGN)	LR, GradientBoosting, MLP, AdaBoost, STAGN	1 Ocak-31 Aralık 2016 tarihleri arasında toplanan gerçek kelime kredi kartı işlem kayıtları	AUC, Recall

İncelenen literatür çalışmaları göz önüne alındığında çizge tabanlı yöntemlerin makine öğrenimi yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk oranı sağladığı ve daha hızlı geri dönüşler gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, makine öğrenimi algoritmaları çizge algoritmaları ile birlikte kullanılarak performans sonuçları optimize edilmiştir. Bu çalışma makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edebileceğini gösterme konusunda literatüre katkı sağlamaktadır.

Metodoloji

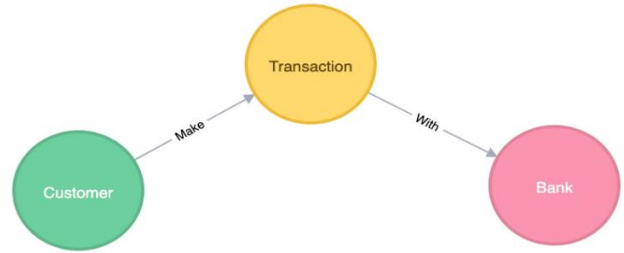
Grafik veri bilimi, aramaları, sorguları ve çizge algoritmalarını kullanarak ağ yapılarının keşfedilmesini ve analiz edilmesini sağlar. Ayrıca ayrık matematiğin bir alt alanı olan grafik teorisinden yararlanarak, dolandırıcılık tahmin doğruluğunu artırır ve finans hizmetleri firmalarına küçük yüzdelik oranlarına sahip doğruluk artışı sağlasa bile firmalar milyolarca dolar tasarruf elde edebilir [20].

Dolandırıcılık tespiti için kullanılacak veriler çeşitli yerlerden çeşitli formatlarla toplansa bile kendi başlarına bir değer sağlamazlar. Verileri anlamlandırmak için veriler arası iletişim kurularak ve veriler düzenlenerek bilgi üretimi sağlanmalıdır. Bu bilgiler ve aralarındaki ilişkiler oldukça karmaşıktır ve dönüşüm işlemi oldukça çaba gerektirir. Uzun bir dönüşüm işleminin sonunda veri gerçek değerini bulur ve bu bilgiden değer elde edilerek eyleme dönüştürülebilir bir öğrenme elde etmek zekâ gerektirir. Bu zekâ makine öğrenimidir [21]. Grafik modeli iyi analiz edilmiş verinin yönetimine yardımcı olmaktadır. İlişkisel bir veritabanı sorgulamak veya NoSQL veri tabanındaki bir değerden anahtar çıkarmak karmaşık bir iştir ve grafiklerin sorgulanması bu açıdan kolaydır, birden fazla kaynaktan gelen verileri birleştirebilir ve eğitimde kullanılacak değişken listesinin bulunmasını ve çıkarılmasını kolaylaştırır. Model oluşturma sürecini hızlandırır, verileri dış bilgi kaynaklarıyla kolaylıkla birleştirir ve veriler istenilen formatta dışarı aktarılabilir. Tüm bu avantajlarından dolayı bu çalışmada dolandırıcılık analizi yapılırken makine öğrenimi yöntemleri çizge madenciliği yöntemleriyle birleştirilerek analizini doğruluğu artırılmıştır. Grafik veri tabanı ve çizge madenciliği için Neo4j aracı kullanılmıştır. Neo4j'nin en büyük grafik topluluğu olması, yüksek performanslı okuma ve yazma ölçeklenebilirliği sağlaması, grafik depolama ve işlemede yüksek performans sağlaması, öğrenmesi ve kullanmasının kolay olması ve güvenilir olması bu çalışmada Neo4j'nin seçilmesine sebep olmuştur [22]. Makine öğrenimi yöntemleri CRISP-DM modelinin 6 aşamasını içermektedir. Bunlar; iş anlayışı, verileri anlama, veri hazırlama, modelleme, değerlendirme ve dağıtımdır [23]. Dolandırıcılık tespiti için makine öğrenimi sınıflandırma algoritmalarından SVM, RF, XGB, k-NN algoritmaları kullanılmıştır ve 5-katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak performans değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Veri seti ve neo4j

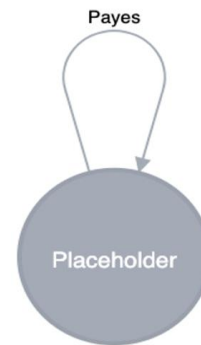
Bu çalışmada İspanya'daki bir bankaya ait toplu banka ödemelerinin bir örneğine dayanan, BankSim veri seti kullanılmıştır [24]. Veri setinin temel amacı, dolandırıcılık tespiti araştırmalarında kullanılacak sentetik verilerin üretilmesidir. Modeli geliştirmek ve kalibre etmek için satıcı ve müşteriler arasındaki ilişkilerin istatistiksel ve sosyal ağ analizi kullanılmıştır. Veri setinde normal ödemeler ve

dolandırıcılık verileri mevcuttur. BankSim yaklaşık altı ay boyunca 180 adımda çalıştırılmış ve test için güvenilir bir dağıtım elde etmek için parametreler kalibre edilmiştir. 587443 tane normal ödemelerin ve 7200 hileli ödemelerin olduğu toplam 594643 kayıt üretilmiştir [25]. Neo4j, günümüzde finansal hizmetler, enerji, yönetim, teknoloji, parakende ve imalat dahil olmak üzere neredeyse tüm sektörlerde ürün ve hizmetleri geliştirmek amacıyla binlerce şirket ve kuruluş tarafından kullanılan bir grafik veri tabanı aracıdır [26]. Bu çalışmada ön işleme aşamasından geçmiş veri setini görselleştirmek amacıyla Neo4j veritabanı ve CypherQL dili kullanılmıştır. Görselleştirilen veriseti python 3 ile Neo4j veri tabanına bağlanılarak CypherQL sorgu dili ile veritabanından çekilmiştir. CypherQL'le görselleştirilmiştir grafik veri setinin temel yapısı Şekil 1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Neo4j çizge veri seti yemel yapısı.

Şekil 1'de CypherQL'le oluşturulan grafik veri seti daha sonra Placeholder düğümüne bağlı müşteri ve banka indeksleri eklenerek genişletilmiştir. Burada Customer ve Bank, Constraint (ana düğümler) olarak etiketlenmiştir. İkisi arasındaki bağlantı ise, transaction düğümü ile gerçekleştirilmiştir. PageRank, Community ve Degree gibi ağda yüksek bir değere sahip düğümleri belirleyen çizge algoritmaları Placeholder olarak etiketlenen müşteri ve banka indeksleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin amacı bir düğüm bozulmak istendiğinde ağın ne kadarını etkileyeceğini belirlemektir. Örneğin bir ağda yalnızca en büyük değere sahip son müşterilerden birine uygun bir biçimde dönüştürülen bir dönüşüm süreci olduğu varsayılırsa süreçten geçen çok fazla yol yoktur. Bu nedenle düğümün ara merkezli olduğu düşüktür ama düğümün değeri zincirdeki önemli bir ögeyi etkilediği için yüksektir. Placeholder düğümü Şekil 2.'de görüldüğü gibidir.

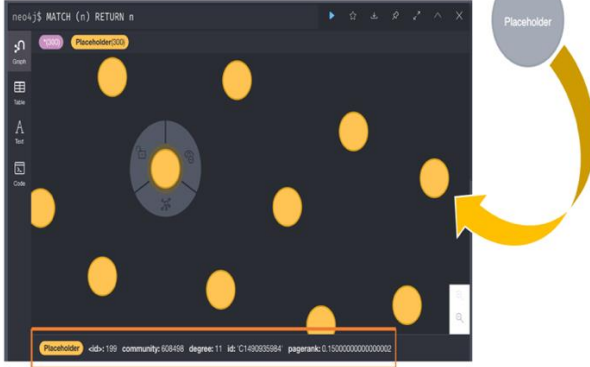


Şekil 2. Placeholder düğümü.

Placeholder düğümüne bağlı müşteri ve banka indekslerinin her biri Community, Degree, PageRank değerlerini içerir. Çizge algoritmaları Placeholder etiketi üzerinde uygulanmış ve Placeholder'ın bağlantısı kendisine ödemeler linkiyle bağlanacak şekilde gerçekleştirilmiştir. CypherQL ile genişletilen veri seti indeksleri ve CypherQL kodu Şekil 3.'de görüldüğü gibidir.

Placeholder Indexlerini oluşturmak için kullanılan CypherQL Kodu:

```
CREATE (M348934600:Placeholder {
  id: "M348934600",
  degree: 11787,
  pagerank: 139.32018184661865,
  community: 608498})
```



Şekil 3. Placeholder düğümü genişletme.

Veri ön işleme

Veri ön işleme aşamasında öncelikle her bir sütundaki boş değer sayıları tespit edilmiştir. Daha sonra veri çerçevesinden sınıf özellikleri alınmıştır. Zipcodeori ve zipMerchant sütunları tüm satırlar için aynı değere sahip olduğundan bu sütunlar silinmiştir. Veri seti özellikler arasında yüksek değere sahip düğümler belirlendikten sonra step, age, gender, customer, fraud sütunları silinerek One Hot Encoding ile veri kategorilendirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra özellik standartlaştırılması işlemi yapılmıştır. İç özellikler ve çizge tabanlı özellikler kullanılarak denetimli öğrenme modelleri eğitilmiştir. Bu işlemlerden sonra sahte düğümler ve gerçek düğümler arasında çok fark olduğundan veri setini dengelemek amacıyla veri setine undersampling yöntemi uygulanmıştır. Undersampling işlemi sonrasında sahte ve gerçek düğüm sayısı 7200 olarak belirlenmiştir. Ön işleme aşamasında boyut küçültme işlemi PCA (Principal Component Analyses) kullanılarak ve bileşen sayısını varyansın %95'i açıklanacak şekilde sınırlandırılarak gerçekleştirilmiştir.

Makine öğrenimi ve çizge algoritmaları

Destek vektör makinesi (SVM), günümüzde makine öğrenimi ve desen sınıflandırması alanında önem kazanmıştır [27]. SVM, girdi uzayında doğrusal veya doğrusal olmayan bir ayırma yüzeyi gerçekleştirilerek elde edilir. Destek vektörü sınıflandırmasında ayırma işlemi destek vektörleri ile ilişkili çekirdeğin doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada Lineer SVM algoritması kullanıldı. Lineer SVM destek vektör kümesini aşamalı olarak oluşturan sezgisel olarak tahmin yapan bir algoritmadır [28]. Son zamanlarda, karşı sınıfa en

yakın nokta çiftinin her zaman Destek Vektörleri olduğu kanıtlanmıştır. Lineer SVM, aday destek vektörü kümesindeki bu noktayı çifti ile başlar. Her yineleme sırasında maksimum ihlal eden bir destek vektörü olduğu varsayılmıştır [29]. Algoritma her yineleme sırasında maksimum ihlal eden bulur ve maksimum ihlal eden bir destek vektörü yapmak için aday destek düzlemini döndürür. Uzayın boyutunun aşılması veya tüm veri noktalarının yakınsama olmaksızın kullanılması durumunda, algoritma, zıt sınıflardan bir sonraki en yakın nokta çifti ile yeniden başlatılır. Lineer SVM geometrik olarak tanımlanmıştır ve anlaşılması kolaydır.

Random Forest algoritması ağaç tahmin edicilerinin bir koleksiyonudur. $H(x; \theta_k)$, $k=1, \dots, K$ ifadesinde x , ilişkili rasgele vektörü, θ_k ve k bağımsız ve özdeş olarak dağıtılmış (id) rasgele vektörleri temsil eder. Algoritmada sayısal bir sonuca sahip olduğunda regresyon ayarına odaklanılır, ancak sınıflandırma (kategorik sonuç) problemleriyle bazı özel temas noktaları kurulur [30].

XGBoost algoritması Gradient Boosting algoritmasının çeşitli düzenlemeler sonucu optimize edilmiş halidir. Yüksek tahmin gücü elde edebilmesi, aşırı öğrenmeyi önlemesi, boş verileri yönetmesi özellikleri ile iyi bir performans gösterir [31]. XGBoost algoritmasında ilk adım olarak ilk tahmin gerçekleştirildi. Bu değer 0,5 olarak varsayıldı. Gözlemlenen değerden tahmin edilen değerlerin çıkarılmasıyla hatalar elde edildi. Hatalar öğrenilerek doğru tahmine yaklaşma amaçlandı.

K-Nearest-Neighbors algoritması parametrik olmayan (non-parametric) bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Eğitim seti kullanan algoritmalarla kıyasla k-Neighbors eğitim veri seti kullanarak eğitim verilerini öğrenmek yerine ezberler ve tahmin yapmak için veri seti içerisindeki en yakın komşuları arar. İlk aşamada bir k değeri belirlenir. Bu k değeri kadar elemana bakılır. Gelen değer ile en yakın komşu eleman arasındaki uzaklık öklid fonksiyonu ile hesaplanır. Öklid'e alternatif olarak Manhattan, Minkowski ve Hamming fonksiyonları da kullanılabilir. Uzaklık hesaplamasından sonra sıralama yapılır ve gelen değer uygun sınıfa atanır [32].

PageRank algoritması düğümlerin geçiş etkisini veya bağlanabilirliğini ölçen en popüler çizge algoritmasıdır ve adını Larry Page'den almıştır [33]. Bu algoritma Neo4j'de düğümlerin öncelikli olmasına bağlı olan hesaplamalarda kullanılmıştır. PageRank hesaplaması Denklem 1.'de gösterildiği gibidir.

$$PR(A) = (1 - d) + d \left(\frac{PR(T_1)}{C(T_1)} + \dots + \frac{PR(T_n)}{C(T_n)} \right) \quad (1)$$

Burada bir A sayfasının T_1 ile T_n sayfalarına sahip olduğu varsayılır. Buradaki d , 0 (dahil) ile 1(hariç) arasında ayarlanabilen bir sönümlenme faktörüdür ve genellikle 0.85'e ayarlanır. $C(A)$, A sayfasından çıkan bağlantıların sayısıdır.

Degree algoritması bir düğüme bağlı ilişkilerin sayısını ölçmektedir [34]. Çalışmada bu algoritma hangi düğümün en çok alt düğüme sahip olduğunu belirlemek için kullanılmıştır.

Community algoritması, modülerlik puanını en üst düzeye çıkarmaya dayalı olarak ağlardaki toplulukları algılamaktadır [35]. Çalışmada bu algoritma grafikte alt toplulukları bulmak için kullanılmıştır.

Deney sonuçları

Neo4j'de oluşturulan çizge veri setinin üzerinde işlem yapmadan önce klasik makine öğrenimi yöntemleriyle SVM, XGB, kNN ve RF algoritmalarının k-katlamalı çapraz doğrulamasına göre performans karşılaştırması yapılmıştır. Performans değerlendirmeleri için karışıklık matrisi kullanılmıştır.

Karışıklık Matrisi: Gerçek değerlerin bilindiği bir test verisi üzerinde herhangi bir sınıflandırma modelinin performans tanımlaması için sıklıkla kullanılan bir tablodur.

Bu çalışmada SVM, XGB, RF, k-NN sınıflandırıcı modellerinin karışıklık matrisinden elde edilen değerler Tablo 2.'de görüldüğü gibidir. Bu tabloya göre XGB, RF, SVM ve k-NN algoritmalarının kesinlik ve F1 skor değerleri oldukça benzer çıkmıştır. Bu sonuçlar dengesiz veri seti üzerinde yani; undersampling yöntemi uygulanmadan önce elde edilen sonuçlardır. Undersampling yönteminin uygulanması sonucunda RF, XGB, SVM ve k-NN algoritması sınıflandırıcıları için elde edilen sonuçlar K-katlamalı çapraz doğrulama ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.'de görüldüğü gibidir.

K-katmanlı çapraz doğrulama bir makine öğrenmesi modelinde gerçekleştirilen testin hatasını daha yüksek doğrulukla tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde temel mantık eğitim veri setinden doğrulama kümeleri olarak da bilinen örnek gözlem bölümleri oluşturmaktır. Veri kümesi k alt kümeye bölünür ve k kez tekrarlanır. Her defasında k alt kümelerinden biri test kümesi olarak kullanılırken, diğer k-1 alt kümeleri bir eğitim kümesi oluşturacak şekilde birleştirilir. Bundan sonra her bir k denemesi için ortalama hata değeri hesaplanır. Bu yöntemin avantajı verilerin nasıl bölündüğünü odak noktasına almamasıdır. Her veri noktası k kere test setinde yer alırken k-1 kere eğitim setine girer. K arttıkça sonuç tahmin varyansı da azalır. Bu yöntem k kere tekrarlanma zorunluluğu içerse de her bir test kümesinin büyüklüğünün anlaşılması ve kaç tane bağımsız deneme olduğunun belirlenmesi açısından avantajlıdır. Tablo 3'de XGB, RF, SVM ve k-NN

algoritmalarının veri setinde undersampling uygulanması sonucunda veri seti dengelenerek kesinlik ve F1 skor metrikleri için daha tutarlı değerler elde edilmiştir.

Python üzerinden Neo4j veri tabanına bağlandıktan sonra CypherQL ile veri tabanındaki veri düğümleri çekilmiştir. Bu veri üzerinde daha önceki bölümlerde gösterilmiş olan ön işleme aşamaları gerçekleştirilmiştir. Ön işlemeden sonra veri seti üzerindeki PageRank, Community, Degree gibi düğümler hakkında ana merkez ve derece yüksekliklerini belirleyen çizge algoritmaları uygulanmıştır. Son olarak uygulanan XGB, RF, SVM ve k-NN yakın komşu algoritmaları ve genişletilmiş çizge veri seti üzerinde 5-katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak performanslar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.'de görüldüğü gibidir. RF ve k-NN algoritmalarının düşük de olsa F1 skor ve kesinlik değerleri optimize edilmiştir. XGB algoritması için duyarlılık (recall) değerinde küçük de olsa bir performans iyileştirilmesi gözlemlenmiştir.

Ayrıca RF için klasik makine öğrenimi yöntemi ve çizge algoritmalarıyla birlikte çizge veri setine uygulanan yöntemin eğitim ve tahmin süreleri karşılaştırılmıştır. Sonuç Şekil 4'de görüldüğü gibidir.

```

----- Time Evaluation -----
training_time_std: 50.490270488262176
training_time_enh 49.02800601005558:
pred_time_std 1.3038832473754878:
pred_time_enh 1.2147937798500064:

```

Şekil 4. Tahmin ve eğitim süresi.

Training_time_std ve pred_time_std standart makine öğrenimi algoritmalarıyla yapılan eğitim ve tahmin sürelerini ifade etmektedir. Training_time_enh ve pred_time_enh ise genişletilmiş çizge analizi algoritmaları ve standart makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanıldığı eğitim ve tahmin sürelerini ifade etmektedir. Küçük de olsa genişletilmiş çizge analizi ve klasik makine öğrenimi yöntemlerinin birlikte kullanılması eğitim ve tahmin sürelerinin kısaltmasını sağlamıştır.

Tablo 2. Performans sonuçları ve sınıflandırıcı algoritmaları

Sınıflandırıcı Algoritmaları ve Performans Sonuçları				
Sınıflandırıcı Modeli	Kesinlik (Accuracy)	Duyarlılık (Recall)	Hassasiyet (Precision)	F1 Score
XGBoost	1	0.76	0.90	0.82
Random Forest	0.99	0.74	0.91	0.82
SVM	0.99	0.64	0.88	0.74
3-En Yakın Komşu	1	0.74	0.85	0.79

Tablo 3. Performans sonuçları ve sınıflandırıcı algoritmaları

Sınıflandırıcı Algoritmaları ve Performans Sonuçları				
Sınıflandırıcı Modeli	Kesinlik (Accuracy)	Duyarlılık (Recall)	Hassasiyet (Precision)	F1 Score
XGBoost	0.89	0.86	0.92	0.89
Random Forest	0.86	0.84	0.88	0.86
SVM	0.84	0.76	0.91	0.83
3-En Yakın Komşu	0.89	0.85	0.93	0.89

Tablo 4. Çizge madenciliği ve ML performans sonuçları ve sınıflandırıcı algoritmaları

Sınıflandırıcı Algoritmaları ve Performans Sonuçları				
Sınıflandırıcı Modeli	Kesinlik (Accuracy)	Duyarlılık (Recall)	Hassasiyet (Precision)	F1 Score
XGBoost	0.89	0.87	0.92	0.89
Random Forest	0.88	0.83	0.92	0.87
SVM	0.84	0.76	0.91	0.83
3-En Yakın Komşu	0.90	0.85	0.93	0.89

Tablo 2 dengesiz veri setinden yalnızca makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçları, Tablo 3 veri seti undersampling yöntemi ile dengeli hale getirildikten sonra yalnızca makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçları göstermektedir. Tablo 4, Neo4j aracı ile görselleştirilen veri setinin düğümleri üzerinde Community, PageRank, Degree gibi çizge algoritmaları uygulanarak düğüm derecelerinin belirlenmesinden sonra uygulanan makine öğrenimi yöntemlerinin sonuçlarını göstermektedir. Tablo 3 ve Tablo 4 karşılaştırıldığında RF ve k-NN kesinlik değerlerinde küçük de olsa bir iyileşme gözlemlenmiştir. Ayrıca XGB duyarlılık değeri ve RF hassasiyet ve f1 skoru değerleri de küçük de olsa iyileşme göstermiştir. Kurumsal firmalar açısından çok küçük iyileştirmelerin bile firmaya kazanç sağlama konusunda önemsendiği bilinmektedir [20].

Bu nedenle küçük de olsa yapılan iyileştirmeler kurumsal firmalar tarafından önem arz etmektedir.

Yapılan iyileştirmeleri daha net gözlemleyebilmek amacıyla Tablo 5.'de literatür taraması kısmında incelenen [18] ve [19]'daki çalışma sonuçlarıyla elde ettiğimiz sonuçlar kıyaslanmıştır. Her bir algoritma için sırasıyla kesinlik, hassasiyet, duyarlılık ve f1 skor değerleri belirtilmiştir.

Tablo 5. Diğer çalışmalarla elde edilen sonuçların kıyaslanması.

Referans	K-NN Algoritması	RF Algoritması	XGB Algoritması	SVM Algoritması	Metrikler Precision (P) Recall (R) Accuracy (A) F1 Score (F1)
Lopez ve Axelsson, 2014 [18]	✓	✓	✓	✗	k-NN P: 0.83 k-NN R:0.61 k-NN F1: 0.70 XGB P: 0.89 XGB R: 0.76 XGB F1: 0.82 RF P: 0.24 RF R: 0.98 RF F1: 0.82
Islam., 2018 [19]	✓	✓	✗	✓	k-NN P: 0.80 k-NN R: 0.80 k-NN F1: 0.79 k-NN A: 0.80 RF P: 0.93 RF R: 0.93 RF F1: 0.93 RF A: 0.93 SVM P: 0.76 SVM R: 0.77 SVM F1: 0.76 SVM A: 0.77
ML ve Çizge Algoritmasının birlikte kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar	✓	✓	✓	✓	k-NN P: 0.93 k-NN R:0.85 k-NN F1: 0.89 k-NN A: 0.90 RF P: 0.92 RF R: 0.83 RF F1: 0.87 RF A: 0.88 SVM P: 0.91 SVM R: 0.76 SVM F1: 0.83 SVM A: 0.84 XGB P: 0.92 XGB R: 0.87 XGB F1: 0.89 XGB A: 0.89

Tablo 5.'de bu çalışmada elde edilen sonuçlarla literatürde aynı veri setini, aynı ön işleme yöntemini ve yalnızca makine öğrenimi algoritmalarını kullanan çalışmaların sonuçları listelenmiştir. Her bir algoritma için değerlendirme metrikleri Precision (P), Recall (R), Accuracy (A), F1 Score (F1) olacak şekilde kısaltılarak değerleri verilmiştir. K-NN, XGB ve SVM için çizge algoritmalarıyla birlikte kullanılan makine öğrenimi algoritmaları yönteminin daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada öncelikle BankSim veri seti üzerinde veri ön işleme aşaması gerçekleştirilerek makine öğrenimi modelleri için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra XGB, RF, SVM, k-NN algoritmalarıyla veri setinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Veri setinin dengesizliğinden kaynaklanan ve tutarsız olan kesinlik ve F1 skor değerleri nedeniyle veri seti üzerinde undersampling uygulanarak daha tutarlı kesinlik ve F1 skor değerleri elde edilmiştir. Neo4j veri tabanında veri seti grafiği oluşturulduktan sonra Community, PangeRank ve Degree algoritmalarıyla birlikte standart makine öğrenimi algoritmaları uygulanmıştır. Çizge algoritmalarıyla XGB, RF, k-NN algoritmalarının sonuçlarının optimize edildiği görülmüştür. Makine öğrenimi algoritmalarının ve çizge algoritmalarının birlikte kullanılmasıyla daha iyi sonuçlar elde etmek ve daha kolay işlemler gerçekleştirmek

mümkündür. Neo4j aracı bu işlemleri gerçekleştirmede ve çizge algoritmalarını kullanmada oldukça kullanışlıdır. Birden çok kaynaktan toplanan verilerin kullanılmasına imkân vermesiyle birlikte kendi içinde de eğitim amaçlı çeşitli veri setleri barındırmaktadır ve kaynak sayısı oldukça fazladır. Sürekli yeni algoritmaların çıkarılması ve optimize edilmesi sonucunda çalışma gelecekte farklı makine öğrenimi algoritmalarıyla ve çizge algoritmalarının birleştirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Çalışmada sadece CypherQL kullanılarak makine öğrenimi algoritmaları olmadan Neo4j üzerinde script'ler kullanarak dolandırıcılık risk tahminlerinin yapılması mümkündür. Burada kullanılan scriptler bir özellik olarak belirtilebilir. Bu çalışmada dolandırıcılık tespitinde çizge algoritmalarının ve makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanılmasının zaman ve performans açısından sonuçlarda iyileştirme meydana getirdiği gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] G. Sadowski, & P. Rathle. Fraud detection: Discovering connections with graph databases. *White Paper-Neo Technology-Graphs are Everywhere*, 13, 2014.
- [2] K. Julisch. Risk-based payment fraud detection. Research Report, IBM Research, Zurich, (2010).
- [3] S. Rehman, U. Khan, A. U., S. Fong. Graph mining: A survey of graph mining techniques. In Seventh

- International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2012) (pp. 88-92), IEEE, (2012).
- [4] D. Koutra, C. Faloutsos. Individual and collective graph mining: principles, algorithms, and applications. *Synthesis Lectures on Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(2), 1-206, (2017).
- [5] C. Jiang, F. Coenen, M. Zito. A survey of frequent subgraph mining algorithms. *The Knowledge Engineering Review*, 28(1), 75-105i (2013).
- [6] S. Suthaharan. Big data classification: Problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 41(4), 70-73, (2014).
- [7] J. Qiu, Wu, Ding Q., G., Xu, Y., S. Feng. A survey of machine learning for big data processing. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2016(1), 1-16, (2016).
- [8] E. Kurshan, H. Shen, & H. Yu. Financial Crime & Fraud Detection Using Graph Computing: Application Considerations & Outlook. In *2020 Second International Conference on Transdisciplinary AI (TransAI)* (pp. 125-130). IEEE, September, 2020.
- [9] D. Cheng, X. Wang, Y. Zhang, & L. Zhang. Graph Neural Network for Fraud Detection via Spatial-temporal Attention. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2020
- [10] C. Yang, Z. Liu, D. Zhao, Sun, M., & E. Y. Chang. Network representation learning with rich text information. In *IJCAI* (Vol. 2015, pp. 2111-2117), July, 2015.
- [11] M. Xie, H. Yin, H. Wang, F., Xu, W. Chen, & S. Wang. Learning graph-based poi embedding for location-based recommendation. In *Proceedings of the 25th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management* (pp. 15-24), October, 2016.
- [12] A. Roy, J. Sun, R. Mahoney, L. Alonzi, S. Adams, & P. Beling. Deep learning detecting fraud in credit card transactions. In *2018 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)* (pp. 129-134). IEEE, April, 2018.
- [13] H. M. Vidanelage, T. Tasnavijitvong, P. Suwimonsatein & P. Meesad. Study on machine learning techniques with conventional tools for payment fraud detection. In *2019 11th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)* (pp. 1-5). IEEE, October, 2019.
- [14] F. Carcillo, Y. A. Le Borgne, O. Caelen, Y. Kessaci, F. Oblé, & G. Bontempi. Combining unsupervised and supervised learning in credit card fraud detection. *Information Sciences*, 2019
- [15] B. Lebichot, Y. A. Le Borgne, L. He-Guelton, F. Oblé, & G. Bontempi. Deep-learning domain adaptation techniques for credit cards fraud detection. In *INNS Big Data and Deep Learning conference* (pp. 78-88). Springer, Cham, April, 2019
- [16] C. Wang, & H. Zhu. Representing Fine-Grained Co-Occurrences for Behavior-Based Fraud Detection in Online Payment Services. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2020.
- [17] P. Shiguihara-Juárez, & N. Murrugarra-Llerena. A Bayesian Classifier Based on Constraints of Ordering of Variables for Fraud Detection. In *2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)* (pp. 1-6). IEEE, October, 2018.
- [18] E. A. Lopez-Rojas, S. Axelsson. Banksim: A bank payments simulator for fraud detection research Inproceedings. In *26th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS*, (2014).
- [19] S. R. Islam. An efficient technique for mining bad credit accounts from both olap and oltp (Doctoral dissertation, Tennessee Technological University), (2018).
- [20] S. Even. *Graph algorithms*. Cambridge University Press, 2011.
- [21] A. Castelltort. Review of Graph-Powered Machine Learning, Alessandro Negro, Manning Publication, 2020.
- [22] Packpub, URL: <https://hub.packtpub.com/neo4j-most-popular-graph-database/>, Varangaonkar, A. Why Neo4j is the most popular Graph database. (Erişim zamanı: 2021)
- [23] R. Wirth, & J. Hipp. CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining. In *Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining* (Vol. 1). London, UK: Springer-Verlag, April 2000.
- [24] E. A. Lopes-Rojas, & S. Axelsson. Banksim: A bank Payment Simulation for Fraud Detection Research, 2014.
- [25] Neo4j, URL: <https://neo4j.com/developer/graph-database/>, (Erişim zamanı: 2021)
- [26] Kaggle, URL: <https://www.kaggle.com/ntnu-testimon/banksim1>, E. Alonso, Axelsson, Stefan. Banksim: A bank payments simulator for fraud detection research Inproceedings, (Erişim zamanı: 2021)
- [27] D. Roobaert. DirectSVM: A simple support vector machine perceptron. *Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology*, 32(1), 147-156, 2002.
- [28] D. Roobaert. *Pedagogical support vector learning: A pure learning approach to object recognition* (Doctoral dissertation, Numerisk analys och datalogi), 2001.
- [29] V. N. Vapnik. Introduction: Four periods in the research of the learning problem. In *The nature of statistical learning theory* (pp. 1-15). Springer, New York, NY, 2000.

- [30] M. R. Segal. Machine learning benchmarks and random forest regression, 2004.
- [31] R. Mitchell & E. Frank. Accelerating the XGBoost algorithm using GPU computing. *PeerJ Computer Science*, 3, e127, 2017.
- [32] M. Sarkar, & T. Y. Leong. Application of K-nearest neighbors algorithm on breast cancer diagnosis problem. In *Proceedings of the AMIA Symposium* (p. 759). American Medical Informatics Association, 2000.
- [33] Neo4j, URL: <https://neo4j.com/docs/graph-data-science/current/algorithms/page-rank/>, (Erişim zamanı: 2021)
- [34] Neo4j, URL: <https://neo4j.com/docs/graph-algorithms/current/labs-algorithms/degree-centrality/>, (Erişim zamanı: 2021).
- [35] Neo4j, URL: <https://neo4j.com/docs/graph-data-science/current/algorithms/community/>, (Erişim zamanı: 2021).



Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyon Tekniği ile Beş Fazlı Asenkron Motorun Matlab/Simulink Modeli

Matlab/Simulink Model of Five phase Induction Motor with Sinusoidal Pulse Width Modulation Technique

Ezgi TAŞKIN^{1*}, Mehmet ÖZDEMİR², İsmail SARIGÜL³

¹ Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ezgitaskin68@gmail.com, ORCID No: 0000-0002-7230-3401

² Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, mozdemir@firat.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-1178-060X

³ İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ismail.sarigul@inonu.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-8440-5918

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 9 Ağustos 2021
Revizyon 14 Eylül 2021
Kabul 22 Eylül 2021
Online 28 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

5-faz, asenkron motor, PWM, sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu

ÖZET

Günümüzde üç fazlı asenkron motorların kullanımı yaygın olmasıyla birlikte gelişen teknolojiye paralel olarak çok fazlı (3'ten fazla) asenkron motor kavramı ortaya çıkmıştır. Çok fazlı asenkron motorlar geleneksel üç fazlı asenkron motorlara göre birçok avantaja sahiptir. Özellikle yüksek güç gerektiren uygulamalarda, elektrikli ve hibrit araçlarda, hava ve deniz taşıtlarında vs. kullanılmaktadır. Çok fazlı asenkron motorlar genellikle inverterlerle beslenmektedir. İnverterin çıkışındaki harmonikler o dalgaının kalitesinin belirlenmesindeki en temel unsurdur. Harmonik bozulmaların önüne geçmek için çeşitli yöntemler kullanılarak çıkış dalga şeklinin sinüse yakın olması amaçlanmaktadır. Bu yöntemlerden biri de sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniğidir. Bu çalışmada sinüzoidal darbe genişlik modülasyon yöntemi ile beş fazlı asenkron motorun kontrolü yapılmıştır. Beş fazlı asenkron motora ait matematiksel denklemler kullanılarak, beş fazlı asenkron motorun simulink model uygulaması d-q referans çerçevesinde oluşturulmuştur. Benzetim modelleri MATLAB/Simulink paket programında gerçekleştirilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 August 2021
Received in revised form 14 September 2021
Accepted 22 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

5-phase, induction motor, PWM, sinusoidal pulse width modulation

ABSTRACT

Today, with the widespread use of three-phase induction motors, the concept of multi-phase (more than 3) induction motors has emerged in parallel with the developing technology. Multi-phase induction motors have many advantages over traditional three-phase induction motors. Especially it is used in applications requiring high power, electric air and sea vehicles, etc. Multiphase induction motors are generally fed with an inverter. Harmonics at the output of the inverter are the most basic element in determining the quality of that wave. It is aimed to have the output waveform close to the sinus by using various methods to prevent harmonic distortions. One of these methods is the sinusoidal pulse width modulation (SPWM) technique. In this study, five-phase induction motor control was discussed using the sinusoidal pulse width modulation technique. A model was created by using the mathematical equations of the five-phase induction motor, and then a 5-phase supply source model was created. Simulation models were created in MATLAB / Simulink package program.

Doi: 10.24012/dumf.1002124

* Sorumlu Yazar

Giriş

Günümüzde üç fazlı şebekeye erişim kolay olduğundan küçük güçlerde tek fazlı asenkron motorun kullanımının dışında asenkron motor daha çok üç fazlı olarak üretilir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak güç elektroniği alanındaki ilerlemelerle birlikte yarı iletken anahtarlardaki iletim ve anahtarlama kayıpları azalmıştır. Bu nedenden dolayı asenkron motorlarda verimlilik artışı söz konusu olmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak çok fazlı asenkron motor kavramı hayatımıza girmiştir. Çok fazlı asenkron motorlar geleneksel üç fazlı asenkron motorlar ile kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir.

Bu avantajlardan bazıları şunlardır;

- Faz sayısı arttıkça gerekli olan güç fazlar arasında bölündüğünden güç taşıma kapasitesi daha yüksek olur,
- Tork titreşimi azalır,
- Daha fazla güvenilirliğe sahip olur,
- Statorda meydana gelen faz kaybı, motorun çalışma ve başlama durumunu engellemez,
- Aynı boyuta sahip motora göre amper başına üretilen moment artar,
- Stator bakır kaybında azalma meydana gelir,
- Rotor harmonik akımı azalır [1],
- Bir veya iki fazlı kısa devre ya da açık devre olsa bile çalışabilir [2].

Çok fazlı asenkron motor sürücülerinin ana uygulama alanlarına;

- Elektrikli veya hibrit araçlar,
- Elektrikli trenler ve gemiler,
- Hava taşıtları,
- Uzay araçları ve
- Yüksek güç gerektiren uygulamalar

örnek olarak verilebilir [3].

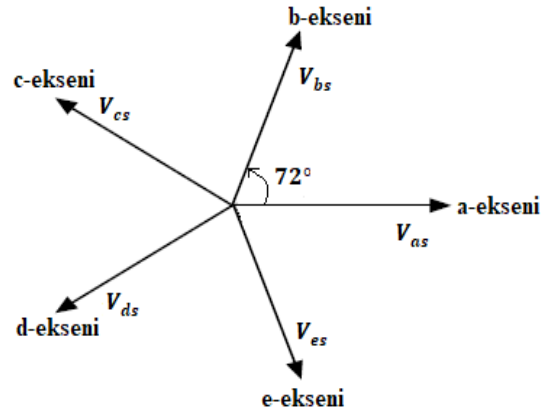
Materyal ve Yöntem

Bu bölümde çalışmada kullanılan beş fazlı asenkron motor, beş fazlı inverter ve inverter modelinde kullanılan modülasyon tekniği hakkında bilgi verilmektedir. Beş fazlı asenkron motorun matlab/simulink model uygulaması d-q referans çerçevesinde oluşturulmuştur.

Beş fazlı asenkron motor

Beş fazlı asenkron motorun çalışması, üç fazlı asenkron motorun çalışmasına benzerdir. Aralarındaki tek fark beş fazlı asenkron motorun beş fazlı bir alternatif akım (AA) sinyaline ihtiyaç duyması ve statorunda beş fazlı sargı yapısının bulunmasıdır. Dengeli bir beş fazlıda, beş grup stator sargısı 72° aralıklarla dağıtılır. Üç faz sargı yapısına göre her iki faz arasındaki faz farkının daha az olması motorun daha yüksek bir güç yoğunluğuna katkıda bulunur [4]. Şekil 1 'de 5 fazlı asenkron motorun şematik diyagramı verilmiştir.

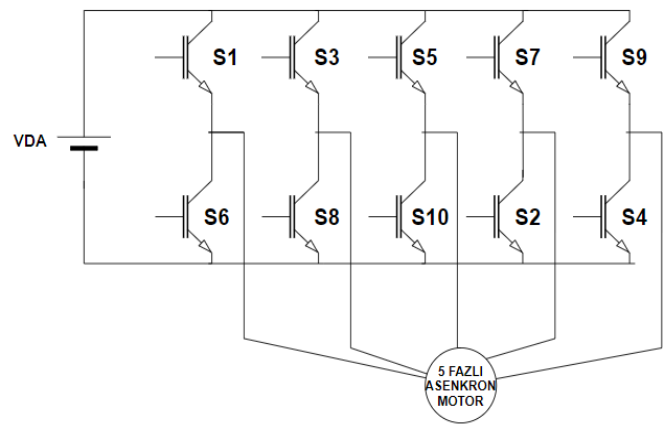
Asenkron motorun stator sargısına beş faz besleme gerilimi uygulandığı zaman, stator sargılarında senkron hız ile dönen bir döner manyetik alan oluşur. Her iki taraftan kısa devre edilmiş rotor çubukları, bu döner manyetik alan içerisinde bulunduğu için, elektromanyetik endüksiyon yasasına göre rotor çubuklarında bir gerilim indüklenir. Bu indüklenen gerilim nedeniyle, rotor çubuklarından rotor akımı akmaya başlar ve rotorda da bir manyetik alan oluşur. Bu iki manyetik alanın etkileşimi nedeniyle bir moment üretilir [5]. Manyetik alan içerisinde bulunan iletkenden akım geçtiğinde Biort-Savart yasasına göre iletkene bir kuvvet etki eder ve bu kuvvet iletkeni hareket ettirmeye çalışır. Böylece motorun hareket ilkesi açıklanmış olur [6].



Şekil 1. Beş fazlı asenkron motorun şematik diyagramı

5 fazlı gerilim kaynaklı inverter

Şekil 2'de beş fazlı gerilim kaynaklı inverterin temel devresi gösterilmiştir. Yarı ilekten güç anahtarı olarak IGBT kullanılmıştır.



Şekil 2. 5 fazlı gerilim kaynaklı inverterin temel devresi

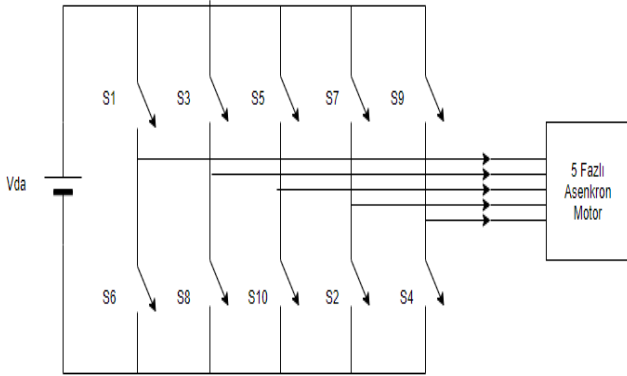
Çok fazlı inverterin her bir bacağı bir fazı temsil ettiği için bacak sayısı artırılarak n sayıda faz üretilebilir [7]. Asenkron motoru sürmek için üst anahtarlardan üç anahtar ve alt anahtarlardan iki anahtar aynı zamanda açıktır [8]. Bu durumun tam tersi de geçerlidir. İnverterin bir bacağı oluşturulan iki

anahtar birbirini tamamlar. Örneğin S1 anahtarı açıkken S6 anahtarı kısa devreyi önlemek için kapalıdır.

Çok seviyeli inverterlerde seviye sayısı artırılarak çıkış dalga şeklinin sinüzoidal biçime yaklaşması sağlanmasının yanı sıra farklı modülasyon teknikleri kullanılarak da çıkış dalga şeklinin sinüzoidal biçime yaklaşması yapılabilmektedir. Bu yöntemler darbe genişlik modülasyon tekniği olarak isimlendirilir [9]. Bu çalışmada darbe genişlik modülasyon tekniği olarak sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği kullanılmıştır.

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği en çok bilinen ve endüstride yaygın olarak kullanılan bir yöntemidir. Dijital modülasyon tekniklerindeki gibi karmaşık hesaplamalara gerek duyulmaması ve analog olarak gerçekleştirilebilmesi en büyük avantajlarıdır. Referans sinüzoidal dalga ile yüksek frekanslı taşıyıcı dalganın karşılaştırılması sonucu inverterde bulunan yarı iletken anahtarlama elemanlarının açıklık ve kapalılık süreleri belirlenir [10]. Şekil 3'te gerilim kaynaklı beş fazlı inverter devresi gösterilmiştir. Her bacakta bulunan anahtarlar, üst veya alt anahtarın durumuna göre 1 veya 0 değerini alabilirler. Eğer sinüzoidal referans gerilimin değeri taşıyıcı üçgen dalga geriliminin değerinden büyük ise inverterin üst kolundaki anahtarlar iletimdedir, küçük ise alt kolundaki anahtarlar iletimdedir.



Şekil 3. Gerilim kaynaklı 5-fazlı inverter

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniğinde; referans sinüzoidal dalganın genliğinin taşıyıcı üçgen dalganın genliğine oranı modülasyon indeksi (M_i) şeklinde tanımlanır [9]. M_i denklem 1'deki gibi ifade edilir.

$$M_i = \frac{V_{ref}}{V_{üçgen}} \quad (1)$$

V_{ref} = Referans sinüzoidal dalganın tepe değeri
 $V_{üçgen}$ = Taşıyıcı üçgen dalganın tepe değeri

M_i çıkış genliğinin ayarlanması için değiştirilmektedir. Böylece değişken genliğe sahip bir sürücü sistem elde edilmektedir [10]. M_i 'nin 0 ile 1 arasında değişmesi istenir.

Referans sinyalin genliği ile modülasyon indeksi ayarlanır [11].

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniğinde taşıyıcı üçgen dalganın frekansının ($f_{üçgen}$) referans sinüzoidal dalga frekansına (f_{ref}) oranına frekans modülasyon indeksi (m_f) denir ve frekans modülasyon indeksi verilen denklem 2'deki gibi ifade edilir.

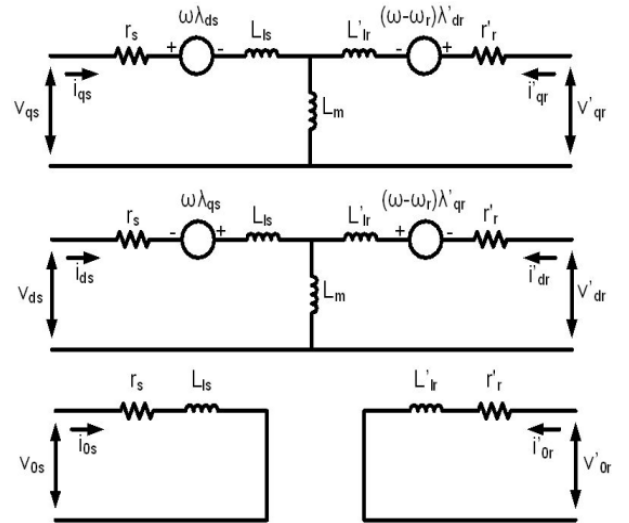
$$m_f = \frac{f_{üçgen}}{f_{ref}} \quad (2)$$

Taşıyıcı üçgen dalganın frekansının değeri seçilirken, m_f değerinin tamsayı olmasına ve aynı zamanda m_f 'in 3'ün katı olması durumuna dikkat edilmesi gerekir. m_f 'in tam sayı olmadığı durumlarda çıkış geriliminde DA harmonik bileşenleri mevcut olacaktır [10].

Beş fazlı asenkron motor modeli

Asenkron motorda, stator-rotor kuplaj terimi rotorun pozisyonuna bağlı olarak değişim gösteren bir fonksiyondur [12]. Bu nedenle rotor pozisyonuna (θ) bağlı olarak rotor ile stator arasındaki ortak endüktansların, sinüzoidal şekilde değişmesi sonucu gerilim denklemlerinde zaman ile değişen katsayılar ortaya çıkar. Bu durum, 5 faz düzleminde motorun dinamik davranışını ifade eden denklemlerin karmaşık olmasına ve beş faz düzleminde motor modelinin çözümünün zor bir şekilde gerçekleştirilmesine neden olur. Fakat asenkron motorun matematiksel modelinin beş faz düzleminde herhangi bir referans hız ile dönen d-q-0 referans çerçevesine aktarılmasıyla beraber rotorun hızına ve zamana bağlı olarak değişen ortak endüktansları içeren diferansiyel denklemler sabit endüktanslara sahip diferansiyel denklemlere dönüşmüş olur [13].

Yapılan çalışmada beş fazlı asenkron motorun simulink modeli d-q-0 eşzamanlı olarak dönen referans çatı dönüşümleri ile oluşturulmuştur. Şekil 4'te beş fazlı asenkron motorun d-q-0 eksenli eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 4. Beş fazlı asenkron motorun d-q-0 eşdeğer devresi [5]

Beş faz ile üç faz modeli arasındaki tek fark x-y bileşenlerinin varlığıdır. Rotor çubukları kısa devre edildiğinden rotor sargısında x-y bileşenleri görünmez. Stator ve rotor için, rotor çubuklarının kısa devre olmasından ve stator sargısının yıldız bağlantısı nedeniyle 0 bileşen denklemleri dikkate alınmayabilir [5].

Denklemler

Beş fazlı asenkron motorun dengeli durumdaki stator gerilimleri aşağıdaki denklem (3)-(7) 'de verilmiştir.

$$V_a = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \sin(\omega_t) \quad (3)$$

$$V_b = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \sin(\omega_t - \frac{2\pi}{5}) \quad (4)$$

$$V_c = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \sin(\omega_t - \frac{4\pi}{5}) \quad (5)$$

$$V_d = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \sin(\omega_t + \frac{4\pi}{5}) \quad (6)$$

$$V_e = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \sin(\omega_t + \frac{2\pi}{5}) \quad (7)$$

5 fazlı asenkron motorun stator ve rotor büyüklüklerinin d-q referans düzlemine taşınması denklem (8) 'de verilen dönüşüm matrisi ile gerçekleştirilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_q \\ V_d \\ V_x \\ V_y \\ V_e \end{bmatrix} = \frac{2}{5} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{5}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{5}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{5}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{5}) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{5}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{5}) & \sin(\theta + \frac{4\pi}{5}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{5}) \\ \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{5}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{5}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{5}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{5}) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta + \frac{4\pi}{5}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{5}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{5}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{5}) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

Stator tarafına ait gerilim denklemleri denklem (9) -(13)'te verilmiştir.

$$V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} - \omega_e \cdot \psi_{qs} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} \quad (9)$$

$$V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \omega_e \cdot \psi_{ds} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} \quad (10)$$

$$V_{xs} = R_s \cdot i_{xs} + \frac{d\psi_{xs}}{dt} \quad (11)$$

$$V_{ys} = R_s \cdot i_{ys} + \frac{d\psi_{ys}}{dt} \quad (12)$$

$$V_{0s} = R_s \cdot i_{0s} + \frac{d\psi_{0s}}{dt} \quad (13)$$

Rotor tarafına ait gerilim denklemleri denklem (14) -(18)'de verilmiştir.

$$V_{dr} = R_r \cdot i_{dr} - (\omega_e - \omega) \cdot \psi_{qr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} \quad (14)$$

$$V_{qr} = R_r \cdot i_{qr} + (\omega_e - \omega) \cdot \psi_{dr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} \quad (15)$$

$$V_{xr} = R_r \cdot i_{xr} + \frac{d\psi_{xr}}{dt} \quad (16)$$

$$V_{yr} = R_r \cdot i_{yr} + \frac{d\psi_{yr}}{dt} \quad (17)$$

$$V_{0r} = R_r \cdot i_{0r} + \frac{d\psi_{0r}}{dt} \quad (18)$$

İndüklenen Moment ve Rotor Hızı denklemleri denklem (19) ve denklem (20)'de verilmiştir.

$$T_e = \frac{5}{2} \frac{P}{2} (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) \quad (19)$$

$$\omega_r = \int \frac{P}{2j} (T_e - T_L) \quad (20)$$

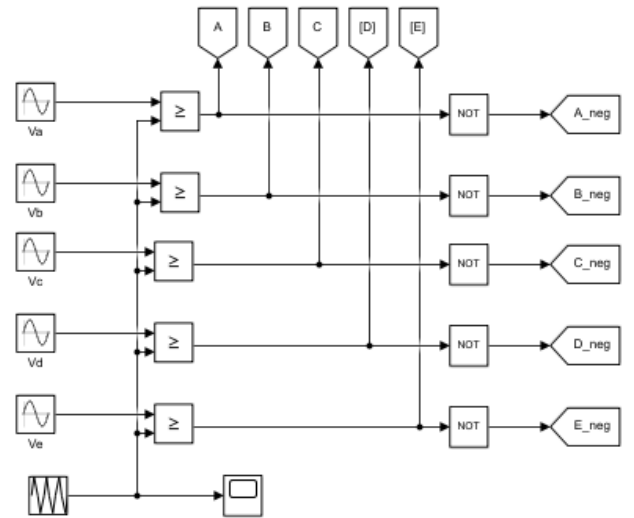
Matlab/Simulink modeli

Benzetim modelinde kullanılan beş fazlı asenkron motorun parametreleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Beş fazlı asenkron motor parametreleri [11]

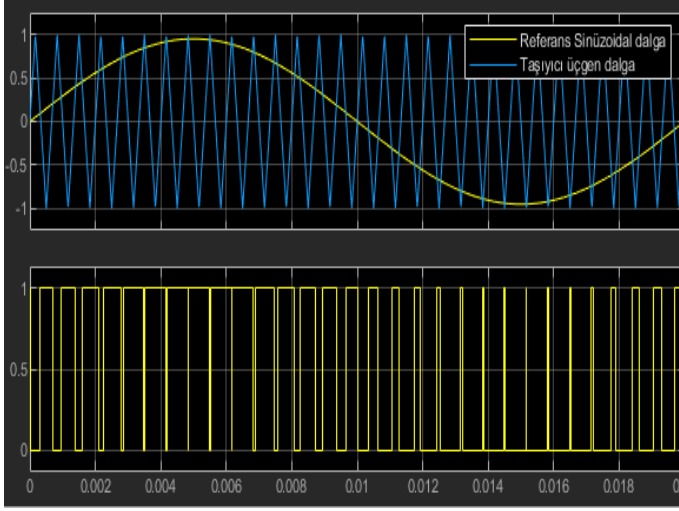
Motor parametreleri	Değeri
Güç (P)	2 HP
Gerilim(V)	220 V
Akım(A)	2.5 A
Frekans(f)	50 Hz
Hız(n)	1440 dev/dk
Stator direnci (R_s)	10 Ω
Rotor direnci (R_r)	6.3 Ω
Stator kaçak indüktansı (L_{ls})	0.04 H
Rotor kaçak indüktansı (L_{lr})	0.04 H
Ortak indüktans (L_m)	1.05 H
Kutup sayısı (p)	4
Sürtünme katsayısı	0.03 Kg m^2
Eylemsizlik katsayısı	0.0015 Nms

Şekil 5'te sünüzoidal referans gerilim değeri ile taşıyıcı üçgen dalga geriliminin karşılaştırma modeli verilmiştir.



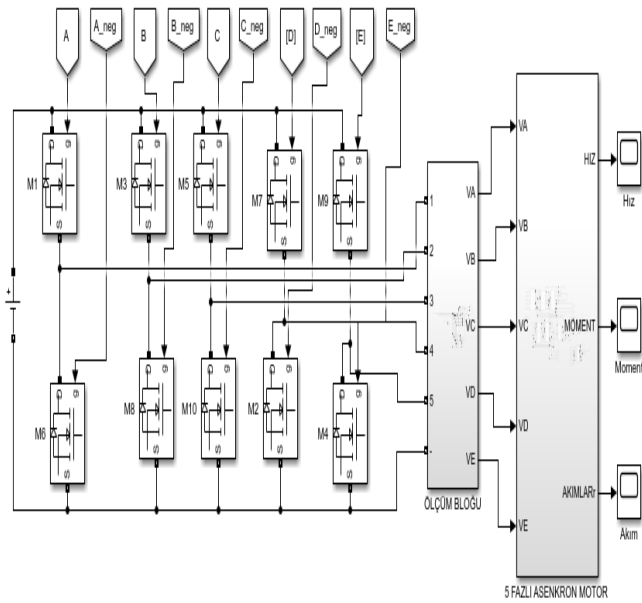
Şekil 5. Referans sinüzoidal dalga ile yüksek frekanslı taşıyıcı dalganın karşılaştırma modeli

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniğinde, sinüzoidal referans sinyallerin modülasyon indeksi 0.95 iken taşıyıcı üçgen sinyal ile karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı üçgen sinyalin frekansı m_f in tamsayı ve 3'ün katı olması sağlanacak şekilde 1.5 kHz olarak seçilmiştir. Bu çalışma durumlarına ilişkin çıkış sinyali Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde sinüzoidal dalganın genliği taşıyıcı üçgen dalganın genliğinden büyük olduğu kısımda anahtar 1 konumunda tersi durumda anahtar 0 konumundadır.



Şekil 6. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği ile sinüzoidal referans sinyal ile taşıyıcı üçgen sinyalin karşılaştırılması çıkış sinyali

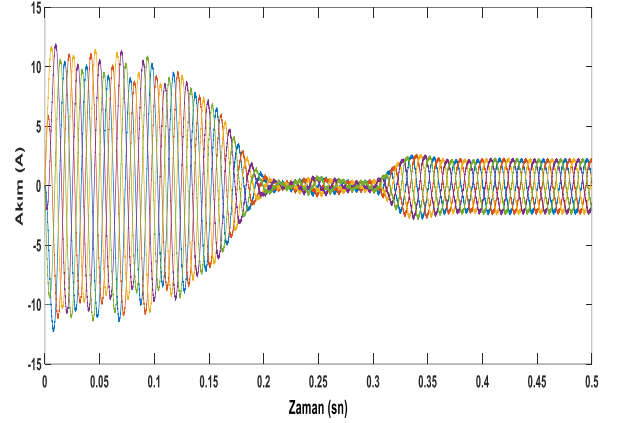
Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon yöntemi ile beş fazlı asenkron motorun matlab/simulink modeli Şekil 7'de verilmiştir.



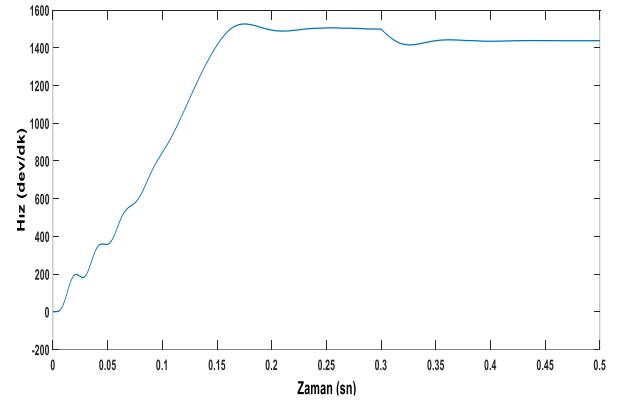
Şekil 7. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon yöntemi ile beş fazlı asenkron motor modeli

Bulgular ve Tartışma

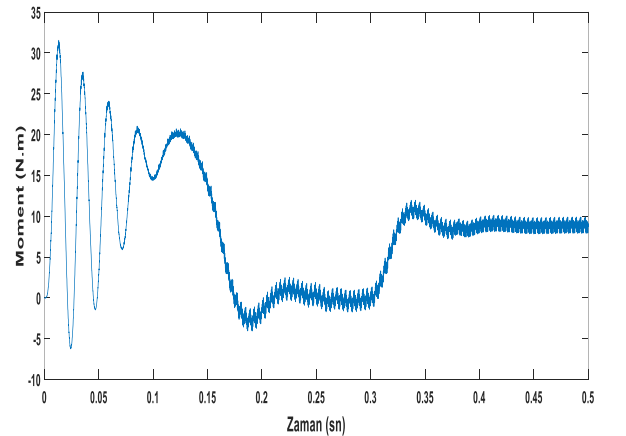
Sinüzoidal darbe genişlik modülasyon yöntemi kullanılarak modellenen 5 fazlı asenkron motor 0-0.3 sn arasında yüksüz 0.3-0.5 sn arasında 8.83 N.m yük momenti ile yüklenmiştir. Modülasyon indeksi 0.95'e ayarlanarak stator faz akımları, hız ve moment grafikleri elde edilmiştir. Şekil 8'de modülasyon indeksi 0.95 iken stator faz akımları grafiği verilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10'da modülasyon indeksi 0.95 iken hız ve moment grafikleri verilmiştir.



Şekil 8. Modülasyon indeksi 0.95 iken stator faz akımları – zaman grafiği

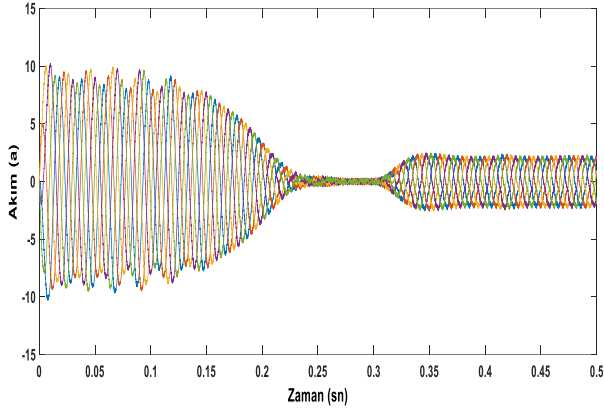


Şekil 9. Modülasyon indeksi 0.95 iken hız – zaman grafiği

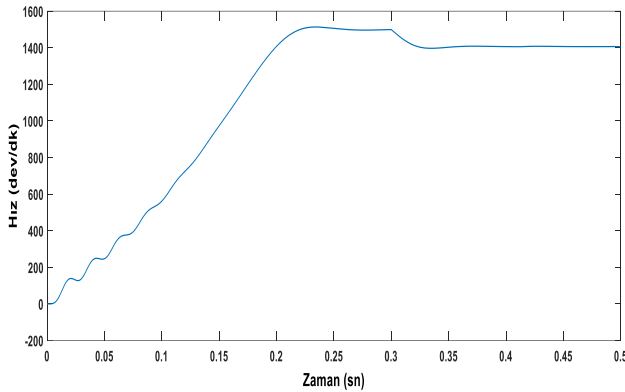


Şekil 10. Modülasyon indeksi 0.95 iken moment – zaman grafiği

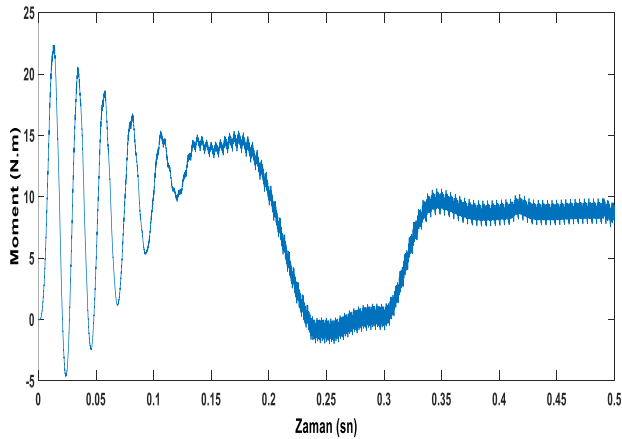
Aynı çalışma şartları altında modülasyon indeksi 0.8' e ayarlanarak motor çalıştırıldığında stator faz akımları, hız ve moment grafikleri elde edilmiştir. Şekil 11'de modülasyon indeksi 0.8 iken stator faz akımları grafiği verilmiştir. Şekil 12 ve Şekil 13'te modülasyon indeksi 0.8 iken hız ve moment grafikleri verilmiştir.



Şekil 11. Modülasyon indeksi 0.8 iken stator faz akımları – zaman grafiği



Şekil 12. Modülasyon indeksi 0.8 iken hız – zaman grafiği



Şekil 13. Modülasyon indeksi 0.8 iken moment – zaman grafiği

Sonuç

Bu çalışmada beş fazlı asenkron motor sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği (SDGM) kullanılarak çalıştırılmış ve benzetim sonuçları elde edilmiştir. SDGM tekniğinde gerilim kontrolü modülasyon indeksi ile yapılabilmektedir. Çalışmada 0.8 ve 0.95 modülasyon indeksleri için motorun akım, hız ve moment grafikleri elde edilmiştir.

Benzetim sonuçlarına bakıldığında;

- $M_i=0.95$ durumunda motorun giriş gerilimi daha yüksek olduğundan sürekli duruma geçiş süresi $M_i=0.8$ olduğu duruma göre daha hızlı olmuştur.
- $M_i=0.95$ durumunda motorun çekmiş olduğu akım hem geçici rejimde hem de sürekli rejimde, $M_i=0.8$ durumuna göre daha fazladır.
- $M_i=0.95$ durumunda motorun kalkış momenti $M_i=0.8$ olduğu duruma göre daha fazladır.
- Her iki durumda da motor aynı değerdeki yük momentiyile yüklenmiş ve $M_i=0.8$ durumunda iken motor yüklendiğinde hızdaki düşüş miktarı $M_i=0.95$ durumundaki düşüş miktarına göre daha fazla olmuştur.

Biyografi

Taşkın E: 1994 yılında Elazığ'da doğdu. Lisans öğrenimini 2017 yılında Fırat Üniversitesi'nde tamamladı. 2020 yılında mart ayında doktora programına başladı. 100/2000 doktora bursu programına kayıtlıdır. Elektrikli ve hibrit araçlar üzerinde çalışmaktadır.

Özdemir M: 1958 yılında Elazığ'da doğdu. Lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 1980, 1984 ve 1993 yıllarında Fırat Üniversitesi'nde tamamladı. Şu anda Fırat Üniversitesi'nde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Elektrik makinaları ve sürücülerini üzerinde çalışmalar yapmaktadır.

Sarıgül İ: 1995 yılında Elazığ'da doğdu. Lisans ve yüksek lisansını Fırat Üniversitesi'nde tamamladı. İnönü Üniversitesi'nde doktora eğitimine devam ediyor. Şu anda İnönü Üniversitesi'nde Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Elektrik makinaları ve sürücülerini üzerinde çalışmaktadır.

Teşekkür

Ezgi TAŞKIN 100/2000 YÖK Doktora Bursu programı kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Y. Zhao, & T.A. Lipo, "Space vector PWM control of dual three-phase induction machine using vector space decomposition", *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 31, no. 5, pp. 1100-1109, 1995.
- [2] S. Smith, "Developments in power electronics, machines and drives", *Power Engineering Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 13-17, 2002.
- [3] G.K. Singh, "Multi-phase induction machine drive research—A survey", *Electric Power Systems Research*, vol. 61, no. 2, pp. 139-147, 2002.
- [4] N. A. Dattu and M. R. Rashmi, "Modeling of five phase induction motor drive", *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, pp. 1-5, 2017.
- [5] K.S.Aher, & A.G.Thosar, "Modeling and Simulation of Five Phase Induction Motor Using Matlab Simulink", *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 6, no. 5, pp.1-8, 2016.
- [6] Çetin İ. & Schusky W., *Elektrik Motörleri(motorları)*, Fatih Yayınevi, 1987, İstanbul.
- [7] G. Palak Sharma, S. Rangari, "Simulation of inverter fed five phase induction motor.", *Int. J. of Science and Research*, vol. 2, no. 2, pp. 127-132 Feb. 2013
- [8] D.Sami, and E.E. EL-Kholy, "Modeling of Five Phase Induction Motor Drive", paper presented at the 2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy), Kollam, India, Dec. 21-23, 2017.
- [9] M. M. Akay, "3 fazlı uzay vektör PWM kontrollü eviricinin FPGA tabanlı kosimülasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2019.
- [10] M. Boylu "Asenkron Motorun Hız Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010
- [11] M. Sowmiya, G. Renukadevi, & K. Rajambal, "IFOC of five-phase induction motor drive", In 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC) IEEE, pp. 304-309, Feb. 2013.
- [12] N. Güzel, "3-fazlı asenkron makinanın modellenmesi ve PWM ile hız kontrolü," Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005.
- [13] R. Rahmatullah, M.F. Demir, & N.F.O.Serteller, "Asenkron Motorların DQ Eksende Üç Referans Çerçevesinde Matlab/Simulink ile İncelenmesi", *Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference(ASYU)*, IEEE , October . 2020.



Comparison of ongoing COVID-19 pandemic confirmed cases/deaths weekly forecasts on continental basis using R statistical models

Zeydin Pala^{1,*}, Ahmet Faruk PALA²

¹ Muş Alparslan University, Engineering Faculty, Department of Software Eng., Muş, Turkey, <https://orcid.org/0000-0002-2642-7788>

² İnönü University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, <https://orcid.org/0000-0001-5841-1943>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 August 2021
Received in revised form 23 September 2021
Accepted 24 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

COVID-19, Time series analysis, prediction, statistical-based models

ABSTRACT

The aim of this study is to contribute to the literature by estimating the 5-weeks number of cases/deaths for each continent by using statistical-based prediction models, which are quite effective on simple but small-scale datasets. While Auto.arima, Tsbats, Naive, Holt, Thetaf and, Drift models were used for prediction processes root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and mean absolute percent error (MAPE) metrics were used for evaluating estimates. According to the confirmed cases MAPE metric values of the 5 continents analyzed, the best predictions for Asia, Africa, Europe, America, and Oceania were done by Thetaf, Naive, Thetaf, Auto.arima, and Auto.arima models, respectively. The use of very limited data for time series estimates such as 57-weeks in the estimation process was a disadvantage. Most models require at least two cycles, 104 weeks of data, to run. Therefore, we could not use models such as neural network autoregressive, multilayer perceptrons, extreme learning machines. The results obtained with the prediction models used in this study aim to make more accurate decisions for the authorized persons dealing with health to be more prepared for future conditions and health systems.

Doi: 10.24012/dumf.1002160

* Corresponding author

Introduction

As the COVID-19 virus poses a threat to people living around the world, it is very important to predict the weekly numbers of future cases/deaths to support disease prevention and help prepare health services. Although some restrictions, such as forcing people to stay at home from time to time due to the pandemic process, make life boring, it has also contributed to the cleanliness of many living spaces, especially the environment, and the easier movement of animals. The history of humanity has witnessed many epidemics that have affected the people of the world from the past to the present on a global basis. These types of epidemics have emerged in history under different names. [1]. Tyrrell and Bynoe first mentioned a Coronavirus family in their study in 1966 [2]. In the literature, corona viruses have generally been defined as viruses with large RNA with an envelope, positive single strand, affecting both humans and a wide variety of animals [3]–[6]. The COVID-19 virus, which is current on a global basis today, first appeared in Wuhan, China's Hubei province, provisionally called 2019-nCoV [7], with the spread of an unknown pneumonia epidemic in December 2019 [8]–[13].

On March 11, 2020, World Health Organization (WHO) declared the COVID-19 outbreak as an official pandemic due to the global spread and severity of the disease [14]. The COVID-19 outbreak is the most important global crisis since the Second World War. All countries of the world were affected by this crisis and continue to be affected [15]. The COVID-19 virus has a higher transmission rate than seasonal Influenza and many other diseases. In symptomatic patients, clinical signs of the disease, consisting of fever, cough, nasal congestion, fatigue and other signs of upper respiratory tract infection, usually begin less than a week later [12], [16]–[21]. COVID-19 virus not only affects people physically, but also negatively affects people's quality of life and mental health. Many factors such as prolonged quarantine and social distancing can make people depressed and cause anxiety disorders [22]. In addition, people with suspected COVID-19 transmission may experience stress, depression, nervousness, insomnia during their quarantine. People with mental health problems are affected by the emotional reactions brought about by the epidemic, and they can cause mental health to deteriorate due to higher sensitivity to stress and depression compared to other people [23]. As the

COVID-19 pandemic has various effects on people, it has also caused a great change in many areas such as industry, sports, economic, financial and education [24]. In addition, the current economic crisis and the stagnation at commercial points caused effects in different areas. Social distancing, self-isolation and travel restrictions have resulted in a decrease in the workforce and loss of many jobs in the general economic sectors. On the other hand, the need for medical supplies and food increased significantly [12],[24]. Artificial intelligence (AI)[25], machine learning (ML) [26], [27], engineering techniques [28], and time-series methods [29]–[31] have recently made significant advances in healthcare. AI can use advanced algorithms to learn features from a vast amount of health data, and then use the information gained to assist clinical practice [32].

To our knowledge, there are several studies [33]–[38] in the literature that use different models to predict COVID-19 data, but this is the first study to use weekly continent-based confirmed data between the first week of January 2020 and the third week of January 2021.

This article contributes to the literature on weekly time-series forecasting the COVID-19 outbreak in several ways: (i) modeling weekly data mathematically in the form of time series; (ii) to analyze weekly continental data between the first week of January 2020 and the third week of January 2021; (iii) to make separate estimates for cases and deaths by using six different statistical-based models for weekly time series on a continent basis; (iv) evaluating the forecast results with the help of RMSE, MAE, and MAPE metrics.

Research Method

Study Design

In this section, obtaining the data, modeling the data as a time series, used prediction models and performance metrics are given respectively. All of the weekly datasets used in this study, given based on the world countries COVID-19 data, were provided from the European Union open data portal site (<https://data.europa.eu/euodp/data/dataset>). The data used here consists of 57 weeks and starts from the first week of January 2020 and ends in the third week of January 2021. The weekly data used in the study were made available on the basis of country data in Asia, Africa, America (North

continents. Weekly data have been obtained separately by taking into account the numbers of confirmed cases and deaths in countries on five continents. The graphs of cases and deaths belonging to the Asia-Africa, European-America and Oceania continents are shown in Figures 1, 2, and 3, respectively, as a 57-week time-series. In addition, statistical values such as min, median, mean and max belonging to five continents are given in Table 1. As seen in Table 1, on average, the highest numbers of confirmed cases/deaths are seen in the continents of America, Europe, Asia, Africa and Oceania respectively.

As seen in Figure 1, weekly data consisting of 57 weeks on the time axis are formed between the first week of January 2020 and the third week of January 2021. The highest number of confirmed cases and deaths in Asia continent was realized as 851577 and 12466, respectively, in the second week (38th week) of September 2020. The number of confirmed cases in the Asia continent has increased since the 1st week of 2020 and reached a peak in the 38th week. It then entered a downward trend. Although the deaths numbers of the same continent increased similar to the cases trend, there were occasional decreases. As can be seen in the lower part of the same graph, the highest number of cases and deaths in the African continent was realized as 227221 and 6501, respectively, in the 1st and 3rd week of January 2021 (i.e., the 54th and 56th weeks). In the African continent, the number of cases reached the first peak in the 29th week and the second peak in the 56th week. The 57-week chart of deaths in the African continent is quite similar to the cases chart. As seen in Figure 2, the highest number of cases in Europe continent was realized as 2092934 in the 1st week of November 2020 (i.e., at the 45th week), while the number of deaths was 39861 in the 3rd week of January 2021 (i.e., at the 56th week).

When the 57-week trend of the European continent is evaluated, it is seen that the first 3 weeks continue at the 0 level, the following weeks have risen and reached the peak in the 45th week, and then declined. On the deaths chart of the European continent, it is seen that the first peak was reached in the 15th week, followed by a downward trend and then increased and peaked again in the 56th week.

In the continent of America, located at the bottom of Figure 2, the highest number of confirmed cases and deaths was

Table 1. Statistical distribution of 57 weeks of data used for Asia, Africa, Europe, America, and Oceania continents

Continent	Confirmed cases				Confirmed deaths			
	Min	Median	Mean	Max	Min	Median	Mean	Max
Asia	1	425608	350950	851577	0	6640	5930	12466
Africa	0	55870	62804	227221	0	1518	1603	6501
Europa	0	221408	588342	2092934	0	5159	12996	39861
America	0	768081	811763	2699838	0	20057	18684	48277
Ocenia	0	686	1010	3607	0	9	21.18	148

America and South America), Europe and Oceania realized as 2699838 and 48277, respectively, in the 1st and

3rd week of January 2021 (i.e., the 54th and 56th weeks). In general, it is seen that the number of cases and deaths in the American continent increased, reaching a peak in the 54th and 56th weeks, respectively.

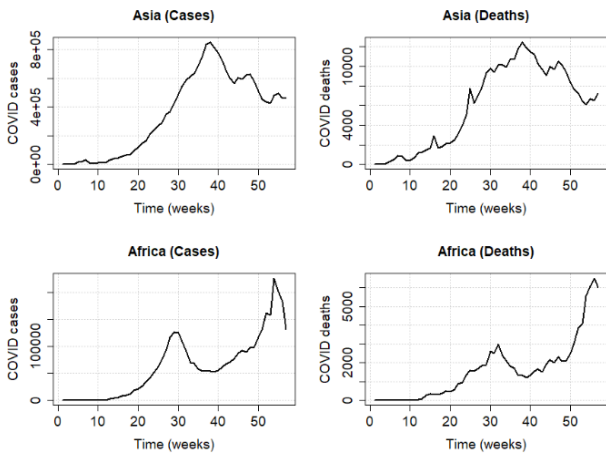


Figure 1. The confirmed cases/deaths values between the first week of 2020 and the third week of 2021 of the 57-week time series of Asia and African continents

As seen in Figure 3, the highest number of cases in Oceania continent was 3607 in the last week of July 2020 (i.e., in the 31st week), while the number of deaths was 39861 in the first week of September 2020 (i.e. week 36). The numbers of COVID-19 confirmed cases/deaths in Oceania continent vary considerably. The death rate in the same continent is only 2.1% of the cases rate.

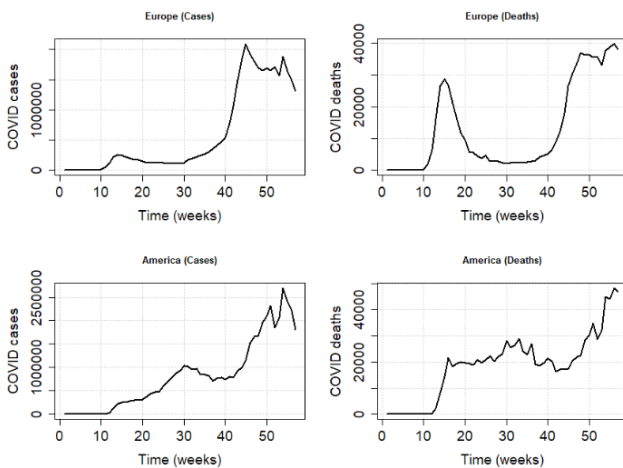


Figure 2. The confirmed cases/deaths values between the first week of 2020 and the third week of 2021 of the 57-week time series belonging to the European and American continents

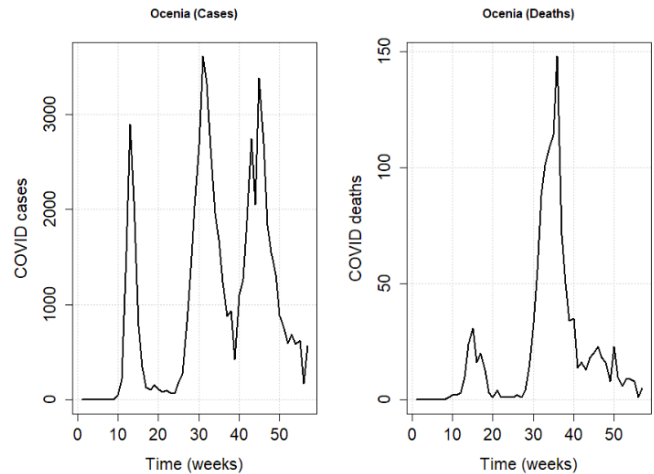


Figure 3. The confirmed cases/deaths values between the first week of 2020 and the third week of 2021 of the 57-week time series belonging to the Oceania continent

Modeling EU-ODP data as time series and prediction models

Time series analysis is commonly used in many fields due to the significant relation between the past and the future. Time series models are useful for modeling data obtained and indexed by time [36]. Time series are used for future predictions in many areas such as health [39], [40], sensor data analysis [41], speech recognition [42], economics [43], radiation forecasting [44], [45], sunspots [46], [47].

Data supplied from the EU-ODP portal can be modeled in time series format, by means of predictor variables, as follows:

$$EU_ODP = f(\text{confirmed_cases/deaths, time_of_week, error}) \tag{1}$$

Note that on the right, the "error" word allows for random variation. Accordingly, the time series prediction equation will be:

$$EU_ODP_{n+1} = f(EU_ODP_n, EU_ODP_{n-1}, EU_ODP_{n-2}, EU_ODP_{n-3}, \dots, \epsilon) \tag{2}$$

Where subscript n is the present week, subscript n+1 is the next week, subscript n-1 is the previous week, subscript n-2 is the two weeks ago, subscript n-3 is the three weeks ago, and so on. ϵ represents the random variation and the effects of variables not included in the model. Here, future forecasting is based on a variable's previous values, but not on external factors that may influence the system. In the models given hereafter, the numbers of cases / deaths obtained weekly at time n are shown with y_n .

In this study, the Naive method, which makes predictions based on the last observation, Drift method for all changes that occur over time, Auto Regressive Integrated Moving Average (auto.arima) method, Exponential smoothing state space model with Box-Cox (Tbats) method, Holt-Winters

[48] method and Theta method forecast (Thetaf) method in Forecast Package imported into the R programming environment were used in the prediction processes. [49]–[51].

Performance evaluation

The consistency of EU_ODP confirmed cases/deaths data will significantly influence the prediction results in terms of calculation precision, missed values, corrupted data, and data entry errors. In time series forecasting, where the sample size is limited, data accuracy is particularly important. Preprocessing the data is one of the crucial steps of data analysis, one of the preliminary steps in that includes feature scaling. The number of weekly EU_ODP cases/deaths, y , was normalized by unit length normalization (ULN), as defined by equation (3). ULN transforms x to x' by dividing each value of the feature vector by Euclidean length of the vector.

$$x' = \frac{x}{\|x\|} = \frac{x}{\sqrt{\sum x^2}} \quad (3)$$

Where x' , x , and $\|x\|$ is normalised value, original value and Ecludian distance vector respectively. In time series forecasting, as in the case of cross-sectional results, we first split the data into a training cycle and a test period in order to prevent overfitting and be able to measure the model's predictive output on new data.

Various statistical tests, including root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and mean absolute percent error (MAPE) were determined to analyze the performance of models using numerical time-series values. In equations 4, 5 and 6, respectively, equations for RMSE, MAE, and MAPE metrics are given.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (e_{n+h})^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |e_{n+h}| \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{e_n}{y_n} \right| \times 100 \quad (6)$$

The n , N , e_n , y_n , and h given in the equations show time, number of observations, prediction error, actual value and future forecast horizon, respectively. The forecast error for time period n , denoted e_n , is defined as the difference between the actual value, y_n and the forecast value, \hat{y}_n at time n .

$$e_n = y_n - \hat{y}_n \quad (7)$$

Here, e_n does not mean a misunderstanding, it means an unforeseeable aspect of the observation. It can be written down as

$$e_{T+h} = y_{N+h} - \hat{y}_{N+h} | N, \quad (8)$$

where the training data is given by $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}$ and the test data is given by $\{y_{N+1}, y_{N+2}, y_{N+3}, \dots\}$. Note that

prediction errors vary in two ways from residuals. Firstly, the residues are measured on the training set while the predicted errors are calculated on the test set. Secondly, residues rely on one-step predictions, while forecast errors will require multi-stage predictions.

Results and Discussion

In this study, time series were created using 57-week COVID-19 confirmed cases and deaths data from Asia, Africa, Europe, America and Ocean continents. Separate time series are used for the estimation of the numbers of cases and deaths of the continents. Six different models, namely Thetaf, Drift, Auto.arima, Tbats, Naïve and Holt, were used in the estimation process of the time series. The time series for training and testing of each model is divided by 91% and 9%, respectively.

57-week COVID-19 cases and deaths prediction charts of Asia, Africa, Europe, America and Ocean continents are given between Figure 4 and Figure 13 with support for six different models. In addition, the 5-week COVID-19 confirmed cases / deaths prediction test values of Asia, Africa, Europe, America and Ocean continents are given as RMSE, MAE and MAPE metric values in Table 2. When the metric values given in Table 2 for the Asia continent are evaluated together with Figures 4 and 5, it is seen that the best estimation process for both cases and deaths time series is made by Thetaf model when MAPE metric is taken as reference in 5-week estimation processes. Here, the MAPE metric value of 4.166 means that the same model made an error of 4.166% on the test data. On the other hand, the performance percentage of the model for the test data is 95.834%. As seen in Table 2, model achievements on the 5-week time series used for cases for Asia continent are Thetaf, Drift, Auto.arima, Tbats, Naïve and Holt. This ranking occurs as Tbats, Auto.arima, Naïve, Holt, Thetaf, and Drift for deaths time series. The Thetaf model made 11.93% less error in the prediction operations of the Asia continent based on the MAPE value on the cases data, compared to the predicted values obtained for deaths of the same continent. In other words, the performance of the predictions made on the cases data is 11.93% better than the performance on deaths data. As seen in Figures 4 and 5, blue lines display predictions for the next 5-weeks. The dark shaded area displays 80% predicted intervals. In other words, each potential value is predicted to lie in the dark shaded area with a probability of 80%.

Prediction graphs of COVID-19 cases and deaths belonging to the African continent are given in Figures 6 and 7, respectively. We see that the Drift method shows the best performance in the prediction of cases, whereas the Tbats model performs better in predicting deaths. Forecast differences in time series depend on both the model, dataset

Table 2. Five-week confirmed cases /deaths RMSE, MAE, and MAPE metric values for the continents using six prediction models

Continent	Models	COVID confirmed cases test metrics			COVID confirmed deaths test metrics		
		RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
Asia	Thetaf	0.006	0.005	4.166	0.019	0.019	16.096
	Drift	0.006	0.005	4.198	0.020	0.019	16.732
	Auto.arima	0.021	0.019	13.849	0.013	0.012	10.370
	Tbats	0.025	0.023	16.455	0.010	0.009	7.562
	Naive	0.034	0.031	22.584	0.013	0.012	10.371
	Holt	0.034	0.031	22.611	0.016	0.013	11.020
Africa	Thetaf	0.057	0.049	17.098	0.010	0.100	28.572
	Drift	0.056	0.047	17.051	0.102	0.092	26.221
	Auto.arima	0.078	0.062	25.873	0.068	0.061	17.558
	Tbats	0.182	0.136	56.807	0.041	0.036	10.641
	Naive	0.057	0.045	16.930	0.116	0.105	30.060
	Holt	0.057	0.048	17.076	0.100	0.090	25.853
Europe	Thetaf	0.040	0.035	16.546	0.016	0.015	6.014
	Drift	0.047	0.040	19.116	0.012	0.010	4.073
	Auto.arima	0.044	0.038	18.035	0.016	0.015	6.049
	Tbats	0.041	0.036	17.031	0.013	0.012	4.871
	Naive	0.046	0.040	18.865	0.021	0.020	7.853
	Holt	0.047	0.040	19.320	0.021	0.020	7.854
America	Thetaf	0.055	0.046	16.214	0.087	0.081	30.768
	Drift	0.052	0.044	10.480	0.082	0.076	28.869
	Auto.arima	0.052	0.044	10.480	0.092	0.086	32.601
	Tbats	0.059	0.051	18.163	0.099	0.093	35.335
	Naive	0.052	0.044	15.672	0.092	0.086	32.600
	Holt	0.052	0.044	10.486	0.053	0.048	17.906
Ocenia	Thetaf	0.021	0.013	67.227	0.012	0.010	155.190
	Drift	0.019	0.012	61.629	0.010	0.009	130.748
	Auto.arima	0.017	0.010	54.625	0.010	0.009	122.333
	Tbats	0.020	0.012	62.310	0.010	0.009	118.540
	Naive	0.018	0.010	55.805	0.014	0.011	181.966
	Holt	0.019	0.011	60.344	0.010	0.009	117.734

length, and trend/seasonality effects in the data. Therefore, it is possible that different models make better predictions on different datasets. The absence of cases in the African continent in the first 8 weeks of 2020 and the absence of deaths in the first 9 weeks caused a decrease in performance in estimation procedures. Therefore, it is seen in Table 2 that the predicted values of the African continent are less accurate than the Asian continent, considering the MAPE metric.

The estimation charts of COVID-19 cases and deaths belonging to the European continent are given in Figures 8 and 9, respectively, for 5-weeks, and the estimation metric values are given in Table 2.

Accordingly, we see that the Thetaf model stands out with 16.545% MAPE value in the cases estimates and the Drift model with 4.073% MAPE value in deaths estimates. 5-week COVID-19 cases and deaths prediction charts for the

Americas are given in Figures 10 and 11, respectively, and metric values are given in Table 2. In the Cases estimates, we see that Drift, Auto.arima and Holt models have 10.480, 10.480 and 10.486 MAPE values, respectively. The rates of error and correct prediction of these models are quite close to each other. However, in the deaths predictions, we see that the Holt model predicts with an error margin of 17.906%, that is, it makes 82.094% correct predictions.

For the Ocenia continent, 5-week COVID-19 cases and deaths prediction charts are given in Figures 12 and 13, respectively, and metric values are given in Table 2. For the Ocenia continent cases predictions, the auto.arima model provided the best performance with 54.625% error, while the deaths predictions provided holt with 117.734% error.

Due to the irregular number of cases and deaths in Ocenia continent, the performance of the models in the prediction process was very low. For the five continents whose

performances were evaluated, the lowest performance was obtained in the cases and deaths estimation processes of Oceania continent. The irregularity of the data in the time series negatively affected the performance of the model.

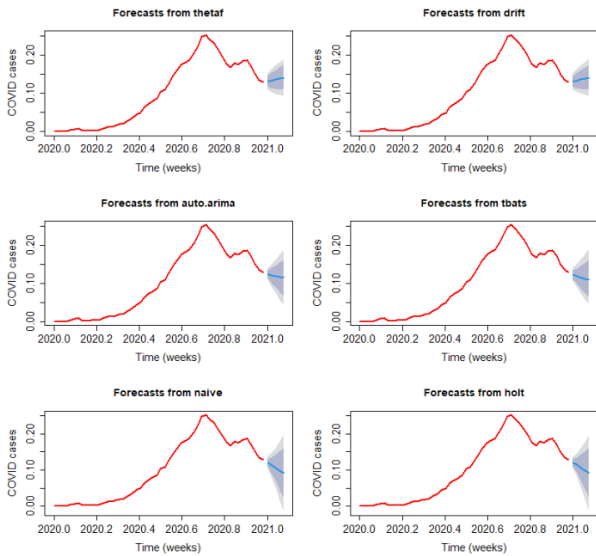


Figure 4. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of cases in the Asian continent.

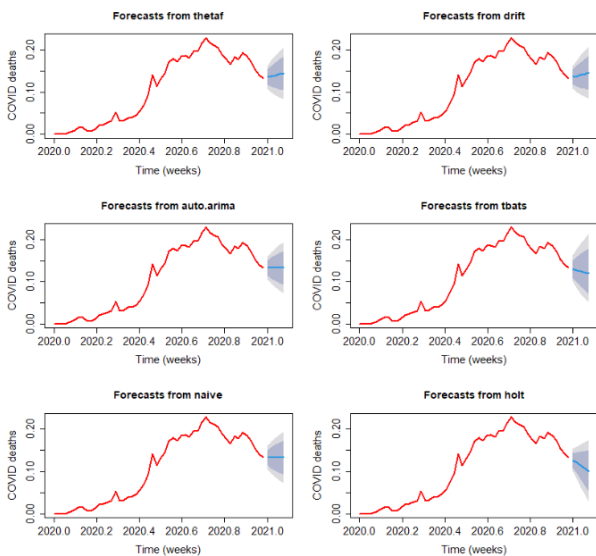


Figure 5. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of deaths in the Asian continent.

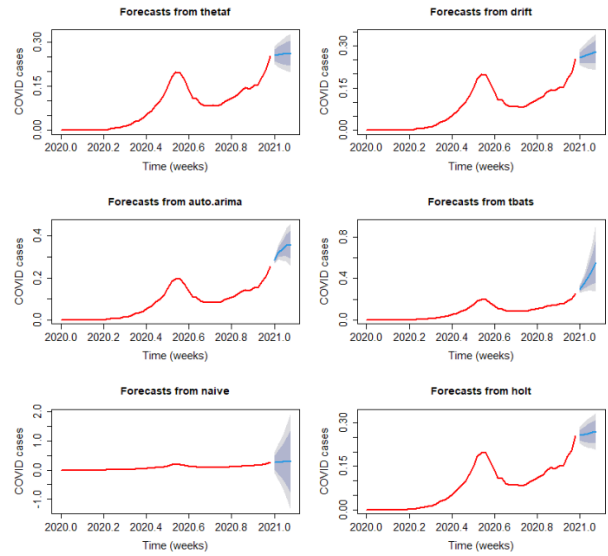


Figure 6. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of cases in the Africa continent.

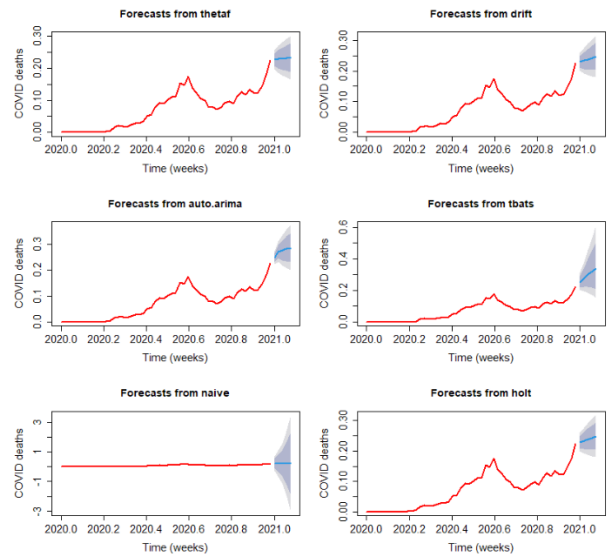


Figure 7. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of deaths in the Asian continent.

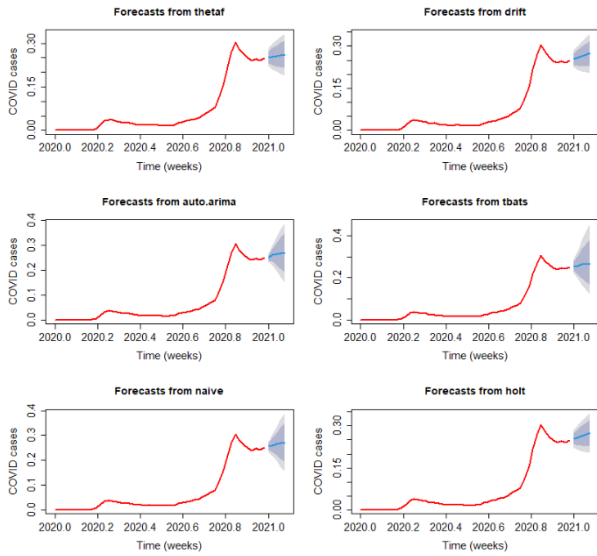


Figure 8. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of cases in the European continent.

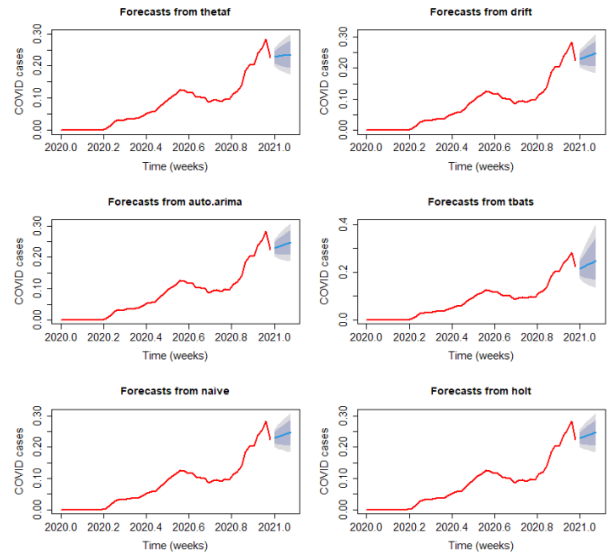


Figure 10. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of cases in the American continent.

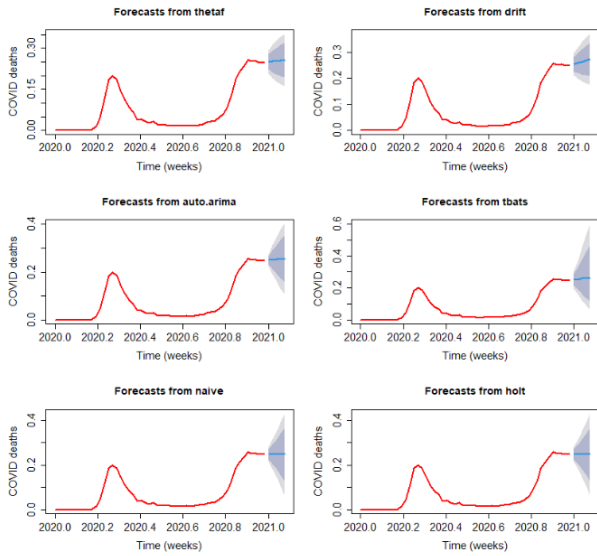


Figure 9. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of deaths in the European continent.

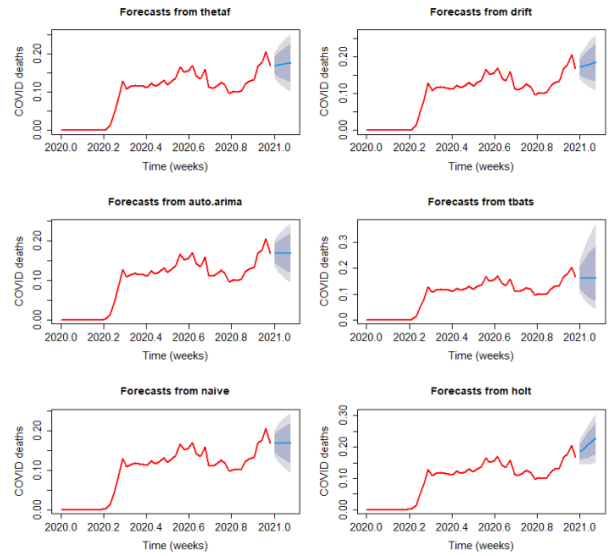


Figure 11. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of deaths in the American continent.

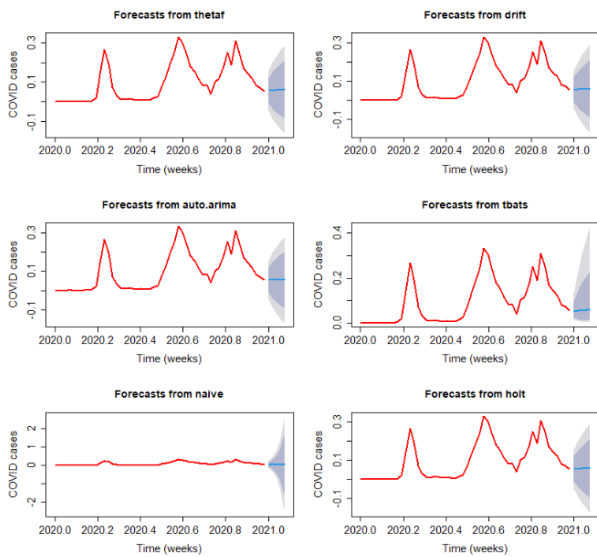


Figure 12. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of cases in the Oceania continent.

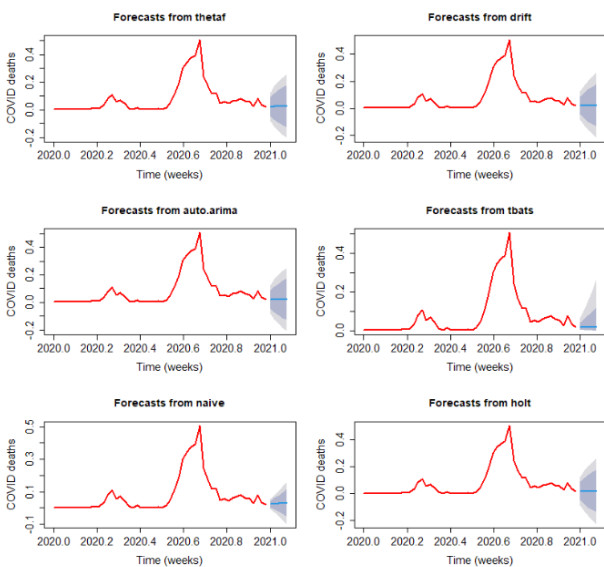


Figure 13. Representation of 5-week estimates with 80% and 95% prediction intervals using six different statistical models of deaths in the Oceania continent.

Conclusion

In this study, R-based statistical models, some of which have not been used in the forecasting of limited time series until now, are used and their performances are evaluated. In other words, the authors evaluated the usability of weekly future predictions of COVID-19, which continues to be effective globally, with time series models. Six different models such as Naive, Drift, auto.arima, Tbats, Holt-Winters, and Thetaf method were used for prediction operations. RMSE, MAE, and MAPE metrics were used to

evaluate the performance of the models used for 5-week predictions. The results obtained were evaluated on the basis of continents.

The accuracy of traditional estimation largely depends on the availability of the data [52]. The fact that the data used in the estimates are limited affects the estimation accuracy very negatively.

According to the confirmed cases MAPE metric values of the five continents analyzed, the best predictions for Asia, Africa, Europe, America, and Oceania were done by Thetaf, Naive, Thetaf, Auto.arima, and Auto.arima models, respectively. The use of very limited data for time series estimates such as 57-weeks in the estimation process was a disadvantage. Most models require at least two cycles, 104-weeks of data, to run. Therefore, we could not use models such as Neural network autoregressive, Multilayer Perceptrons, Extreme learning machines. Especially since we had to make predictions using a limited data set such as 57-weeks, we could not reach the desired levels in model performances. In a sense, more data means better predictions for time series.

The socio-economic, demographic, and environmental conditions of the countries in the continents where data are collected differ. In addition, there is a serious shortage of nurses in low and medium-developing countries. In comparison, the number of hospital beds per thousand people and access to health care services in these less developed countries is still very limited. However, wealthier and relatively more developed countries have more overweight people relative to lower GDP countries and are thus more vulnerable to COVID-19 [26].

Ethical approval

No ethical approval was required for this study. The analysis uses only publicly available data reported in the European Union open data portal site.

References

- [1] S. D. Pitlik, "Covid-19 compared to other pandemic diseases," *Rambam Maimonides Med. J.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–17, 2020.
- [2] D. A. Tyrrell and M. L. Bynoe, "Cultivation of viruses from a high proportion of patients with colds.," *Lancet*, vol. 1, no. 7428, pp. 76–77, 1966.
- [3] N. Zhu *et al.*, "A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 8, pp. 727–733, 2020.

- [4] J. Cui, F. Li, and Z. L. Shi, "Origin and evolution of pathogenic coronaviruses," *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 17, no. 3, pp. 181–192, 2019.
- [5] R. Wölfel *et al.*, "Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019," *Nature*, vol. 581, no. 7809, pp. 465–469, 2020.
- [6] D. Sornette, E. Mearns, M. Schatz, K. Wu, and D. Darcet, "Interpreting, analysing and modelling COVID-19 mortality data," *Nonlinear Dyn.*, vol. 101, no. 3, pp. 1751–1776, 2020.
- [7] S. Perlman, "Another Decade, Another Coronavirus," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 8, pp. 760–762, 2020.
- [8] C. Wang, P. W. Horby, F. G. Hayden, and G. F. Gao, "A novel coronavirus outbreak of global health concern," *Lancet*, vol. 395, no. 10223, pp. 470–473, 2020.
- [9] Fang, "Sensitivity of Chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR," *Radiology*, vol. 395, no. 3, pp. A1–A2, 2020.
- [10] N. Chen *et al.*, "Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study," *Lancet*, vol. 395, no. 10223, pp. 507–513, 2020.
- [11] W. Wang *et al.*, "Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens," *JAMA - J. Am. Med. Assoc.*, vol. 323, no. 18, pp. 1843–1844, 2020.
- [12] T. Singhal, "Review on COVID19 disease so far," *Indian J. Pediatr.*, vol. 87, no. April, pp. 281–286, 2020.
- [13] D. Wang *et al.*, "Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China," *JAMA - J. Am. Med. Assoc.*, vol. 323, no. 11, pp. 1061–1069, 2020.
- [14] Ö. Açıkgöz and A. Günay, "The early impact of the Covid-19 pandemic on the global and Turkish economy," *Turkish J. Med. Sci.*, vol. 50, no. SI-1, pp. 520–526, 2020.
- [15] S. Boccaletti, W. Ditto, G. Mindlin, and A. Atangana, "Modeling and forecasting of epidemic spreading: The case of Covid-19 and beyond," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 135, 2020.
- [16] W. Guan *et al.*, "Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 18, pp. 1708–1720, 2020.
- [17] T. P. Velavan and C. G. Meyer, "The COVID-19 epidemic," *Trop. Med. Int. Heal.*, vol. 25, no. 3, pp. 278–280, 2020.
- [18] C. Huang *et al.*, "Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China," *Lancet*, vol. 395, no. 10223, pp. 497–506, 2020.
- [19] M. L. Holshue *et al.*, "First Case of 2019 Novel Coronavirus in the United States," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 10, pp. 929–936, 2020.
- [20] K. Q. Kam *et al.*, "A well infant with coronavirus disease 2019 with high viral load," *Clin. Infect. Dis.*, vol. 71, no. 15, pp. 847–849, Aug. 2020.
- [21] S. R. Weiss and J. L. Leibowitz, *Coronavirus pathogenesis*, 1st ed., vol. 81. Elsevier Inc., 2011.
- [22] M. L. McGowan, A. H. Norris, and D. Bessett, "Care Churn — Why Keeping Clinic Doors Open Isn't Enough to Ensure Access to Abortion," *N. Engl. J. Med.*, vol. 383, no. 6, pp. 508–510, 2020.
- [23] H. Yao, J. H. Chen, and Y. F. Xu, "Patients with mental health disorders in the COVID-19 epidemic," *The Lancet Psychiatry*, vol. 7, no. 4, p. e21, 2020.
- [24] M. Nicola *et al.*, "The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review," *Int. J. Surg.*, vol. 78, no. April, pp. 185–193, 2020.
- [25] Z. Pala and O. Özkan, "Artificial Intelligence Helps Protect Smart Homes against Thieves," *DÜMF Mühendislik Derg.*, vol. 11, no. 3, pp. 945–952, 2020.
- [26] S. S. Mohamed Ali, A. H. Alsaeedi, D. Al-Shammary, H. H. Alsaeedi, and H. W. Abid, "Efficient intelligent system for diagnosis pneumonia (SARSCOV19) in X-ray images empowered with initial clustering," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 241–251, 2021.
- [27] Z. Pala and M. Şana, "Attackdet: Combining web data parsing and real-time analysis with machine learning," *J. Adv. Technol. Eng. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 37–45, 2020.
- [28] B. Saman, M. M. A. Eid, and M. M. Eid, "Recently employed engineering techniques to reduce the spread of COVID-19 (Corona Virus disease 2019): A review study," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 277–286, 2021.
- [29] İ. H. Ünlük and Z. Pala, "Prediction of monthly electricity consumption used in Mu ş Alparslan University Complex by means of Classical and Deep Learning methods," *Int. Conf. Data Sci. Mach. Learn. Stat. - 2019*, vol. 1, no. 1, pp. 237–239, 2019.
- [30] Z. Pala, "Using forecastHybrid Package to Ensemble Forecast Functions in the R," *Int. Conf. Data Sci. Mach. Learn. Stat. - 2019*, vol. 1, no. 1, pp. 45–47, 2019.
- [31] E. Yıldız and Z. Pala, "Time Series Analysis of Radiological Data of Outpatients and Inpatients in Emergency Department of Mus State Hospital," *Int. Conf. Data Sci. Mach. Learn. Stat. - 2019*, pp. 234–236, 2019.
- [32] F. Jiang *et al.*, "Artificial intelligence in healthcare:

- Past, present and future,” *Stroke and Vascular Neurology*, vol. 2, no. 4. BMJ Publishing Group, pp. 230–243, 01-Dec-2017.
- [33] S. Chakraborti *et al.*, “Evaluating the plausible application of advanced machine learnings in exploring determinant factors of present pandemic: A case for continent specific COVID-19 analysis,” *Sci. Total Environ.*, vol. 765, p. 142723, 2020.
- [34] L. Zhong, L. Mu, J. Li, J. Wang, Z. Yin, and D. Liu, “Early Prediction of the 2019 Novel Coronavirus Outbreak in the Mainland China Based on Simple Mathematical Model,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 51761–51769, 2020.
- [35] T. Dehesh, H. A. Mardani-Fard, and P. Dehesh, “Forecasting of COVID-19 Confirmed Cases in Different Countries with ARIMA Models,” *medRxiv*. medRxiv, 18-Mar-2020.
- [36] M. Maleki, M. R. Mahmoudi, M. H. Heydari, and K. H. Pho, “Modeling and forecasting the spread and death rate of coronavirus (COVID-19) in the world using time series models,” *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 140, p. 110151, Nov. 2020.
- [37] A. Zeroual, F. Harrou, A. Dairi, and Y. Sun, “Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-series data: A Comparative study,” *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 140, p. 110121, Nov. 2020.
- [38] T. B. Alakus and I. Turkoglu, “Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection,” *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 140, 2020.
- [39] J. A. Doornik, J. L. Castle, and D. F. Hendry, “Short-term forecasting of the coronavirus pandemic,” *Int. J. Forecast.*, 2020.
- [40] Z. Pala and A. F. Pala, “Perform Time-series Predictions in the R Development Environment by Combining Statistical-based Models with a Decomposition-based Approach,” *J. Muş Alparslan Univ. Fac. Eng. Archit.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [41] Y. Yang, J. Dong, X. Sun, E. Lima, Q. Mu, and X. Wang, “A CFCC-LSTM Model for Sea Surface Temperature Prediction,” *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 15, no. 2, pp. 207–211, 2018.
- [42] Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [43] P. M. Maçaira, A. M. Tavares Thomé, F. L. Cyrino Oliveira, and A. L. Carvalho Ferrer, “Time series analysis with explanatory variables: A systematic literature review,” *Environmental Modelling and Software*, vol. 107. Elsevier Ltd, pp. 199–209, 01-Sep-2018.
- [44] Z. Pala, İ. H. Ünlük, and E. Yaldız, “Forecasting of electromagnetic radiation time series: An empirical comparative approach,” *Appl. Comput. Electromagn. Soc. J.*, vol. 34, no. 8, 2019.
- [45] Z. Pala, “Examining EMF Time Series Using Prediction Algorithms With R,” vol. 44, no. 2, pp. 223–227, 2021.
- [46] Z. Pala and R. Atici, “Forecasting Sunspot Time Series Using Deep Learning Methods,” *Sol. Phys.*, vol. 294, no. 5, 2019.
- [47] R. Atıcı and Z. Pala, “Prediction of the Ionospheric foF2 Parameter Using R Language Forecast hybrid Model Library Convenient Time,” *Wirel. Pers. Commun.*, no. doi.org/10.1007/s11277-021-09050-6 Prediction, pp. 1–20, 2021.
- [48] R. Calegari, F. S. Fogliatto, F. R. Lucini, J. Neyeloff, R. S. Kuchenbecker, and B. D. Schaan, “Forecasting Daily Volume and Acuity of Patients in the Emergency Department,” 2016.
- [49] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting : Principles and Practice*, 2nd editio. Australia: Monash University, 2018.
- [50] R. J. Hyndman, A. B. Koehler, R. D. Snyder, and S. Grose, “A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods,” *Int. J. Forecast.*, vol. 18, no. 3, pp. 439–454, 2002.
- [51] Rob J. Hyndman and Yeasmin Khandakar, “Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R,” *J. Stat. Softw.*, vol. 27, no. 3, p. 22, 2008.
- [52] F. Petropoulos and S. Makridakis, “Forecasting the novel coronavirus COVID-19,” *PLoS One*, vol. 15, no. 3, pp. 1–8, 2020.



Ergonomic Risk Assessment in Automotive Welding Lines and Comparison of Method Output

Aynur GÜRSOY ÖZCAN^{1*}

¹Kocaeli University, Industrial Engineering Department, aynurgursoy10@gmail.com, Orcid No: 0000-0003-3629-0911

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 June 2021
Received in revised form 17 August 2021
Accepted 17 August 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

*Automotive welding tasks,
Ergonomic risk assessment
methods, Improvements,
Musculoskeletal disorders,
Occupational health.*

Doi: 10.24012/dumf.1002172

* Corresponding Author

ABSTRACT

There are many studies in the literature on ergonomic risk assessment, but there are limited studies on the Germany Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAUA) method. The aim of this study is to examine the compatibility between Rapid Entire Body Assessment (REBA) and BAUA and the ability of the methods to correctly classify the risk level of risky tasks, and to make ergonomic improvements to reduce the physical strains. The welding processes of the automotive company were examined and ergonomic risk assessment was made by using REBA and BAUA for four tasks with the most strains. The evaluation criteria and results of the methods were compared and improvement suggestions were developed to reduce ergonomic risks. The results of this study approve that the risk output of both methods depends on the exposures considered and their greatness. Both REBA and BAUA are used for work done using the whole body. The biggest difference between the methods is that the time weight evaluation is always used in the BAUA, and the time is not taken into account in the REBA. Since the aim of ergonomics studies is to eliminate the risks of musculoskeletal disorders (MSD), the results that will show where to start the improvement studies should be determined in the most accurate way and no factors should be overlooked. People who will conduct ergonomic risk assessment studies for welding employees were informed about the advantages and disadvantages of both methods and suggestions were given.

Introduction

Effectively using human resources who try to adapt to rapidly technological developments and production conditions, is of great importance for the enterprises. In the rapidly increasing competitive environment, companies that want to increase their production power, have started to find new methods for productivity-enhancing studies. One of the biggest increases within the scope of these studies are mechanization and automation however, over time, it has been found that this is also not enough. To improve production systems and improve product quality, it is not sufficient to take into account only technical parameters that affect system conditioning and quality [1]. Because in the production industry where human resources are used predominantly the productivity changes not only with the improvement of machinery, but also with the effect of the human factor [2]. This traditional ergonomics approach that focuses on physical and mental factors is called micro ergonomics [3].

Many studies have been conducted examining human-machine interaction and environment in order to prevent the decrease in the importance of the human factor against machines and developing methods and to increase employee productivity in the rapidly developing field of

ergonomics [4]. As a result of developing technological studies, the need for manpower in many areas continues even the production processes are facilitated. MSD are a possible problem when working with awkward postures in tasks with high physical workload [5].

In the labor-intensive automotive industry, ergonomic improvements in the working environment are very important for both the health of the employees and the increase of production efficiency [6]. To achieve work efficiency, it is necessary to reduce forceful movements and improve inappropriate posture [7]. The cost resulting from MSD is high.

MSD may occur in employees exposed to physical risk factors such as awkward working position, working environment or lifting excessive load [8]. If ergonomic arrangements are not made in such working environments, these disturbances may increase and, as a result, workforce losses may be experienced. Costs arise due to loss of workforce, labor treatment, compensation payment, production inefficiency and poor quality. These results reveal how important ergonomics studies are. The most important step in reducing and preventing MSD in the work environment is the determination and evaluation of ergonomic risks [9]. If there is a deviation in the posture of

one or more limbs according to the normal body posture, this is defined as awkward posture [5]. MSD are caused by static postures or repetitive-rapid movements, awkward postures that force the body, tasks that do not allow appropriate movement, etc. [10-12]. This, in turn, leads to material and moral losses for employees, employers and the state [13].

Although it is tried to be integrated with robots in welding processes in the automotive industry, manpower is still used intensively. Every task where manpower is used, causes physical strains in the employee and accordingly MSD. By performing ergonomic risk analysis, challenging situations for the employee should be determined and ergonomic solutions should be applied.

In the literature reviews, it is seen that many scientific methods have been carried out and academic studies have been developed for the ergonomic risk assessment for work-related MSD, but there are many problems during and after the application in practice. In the ergonomic risk exposure assessment studies performed by occupational safety, the choice of method, observation, analyse and interpretation stages cause the evaluator to hesitate and have difficulties in many issues [14].

Methods used for ergonomic risk assessment of task performed using the whole body are Quick Exposure Assessment (QEC), Ovako Working Postures Analysing System (OWAS), European Assembly Analysis (EAWS), REBA and BAUA (Bundesanstalt Für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Germany Federal Institute for Occupational Safety and Health). Observational techniques created to determine the risk exposure and make quantitative evaluations are the most used methods due to their ease of use, low cost and flexibility [15].

In welding works, manual, lifting, carrying and placing tasks are usually performed using the whole body. For this reason, methods that allow whole body evaluation can be used for analysis of employees in welding works.

In this study, ergonomic physical workload measurements were made using REBA that takes into account the postures of whole body, load, repetitive movement and compound interaction, in which observation and video recording is sufficient to collect data and BAUA, which allows detailed analysis by taking into account the duration and frequency of the work according to the type of work (lifting, holding, carrying and load pulling-pushing) in an automotive sub-industrial company. The improvement proposals to reduce the risks were suggested. Besides these, the results of the methods were compared with this study. It is important to work with the appropriate method for determining the ergonomic risk levels. It is aimed to give information about the characteristics of the methods to those who will measure the physical workload for welding works performed using the whole body.

Literature Review

REBA method is a practical method frequently used in the field of ergonomics. For this reason, not all of the studies in which the method is applied have been mentioned, but only the applications in the automotive industry have been

examined. Hignett and McAtamney [16] examined in their study 600 working postures of people working in some industries. As a result of the study, REBA one of the widely used ergonomic analysis methods has been developed. Atıcı et al. [17] conducted the analysis of awkward working positions in a cable manufacturing factories in the automotive industry, by using the REBA. With the analysis made, the strains occurring in the employee were determined and, improvements were proposed to reduce these strains. Ulutaş and Gündüz [18] identified problems associated with MSD in a factory where cable is manufactured. Rapid Exposure Assessment (REA) and REBA were applied at two specific workstations. After these analyzes, new applications have been developed to improve physical risk factors. After the arrangements, re-analyzes were made and the efficiency of the results obtained was evaluated. Ertaş and Bulut [19] determined ergonomically awkward situations and, made improvements to eliminate the inconveniences with the analysis performed in the press section of a company that manufactures clutches. Thus, employee and task alignment has increased employee competence and productivity and, a 5% improvement has been achieved in press production times on a product basis. In his study, Sakalar [20] evaluated the stations from an ergonomic perspective using the REBA on the assembly line in a company that manufactures motor oil pumps and, identified the workstation with the highest physical workload and identified the most common MSD.

When looking at the studies, it is seen that by using BAUA, there are few studies in the literature. 70% of the researches have been published in German language [21]. Sevimli et al. [22] conducted an ergonomic risk analysis of the working conditions of those working in the rice packaging company. The ergonomic risk analysis of 6 stations in the production lines was made according to REBA and BAUA. After the examination, necessary measures were taken and, ergonomic risks were reduced. Acar et al. [5] conducted an ergonomic risk analysis by using REBA and BAUA on the solid fuel stove production assembly line. After the suggested improvements, they improved the REBA and BAUA scores up to 70% and, determined that the financial aspect of the suggestions was at a feasible level in order to provide a healthier working environment for the employees. Ülker [21] used the BAUA in order to determine the strains encountered during the transportation of parts in the production of furniture and, made suggestions to reduce the workload.

Yüce [23] examined the task done by automotive service employees and, ergonomic damage and risk exposure levels were examined with the help of ergonomic risk assessments. Berber [24] examined the packaging and warehouse shipping departments of a food production factory that produces sugar. For the packaging department, REBA, BAUA, NIOSH and Snook ergonomic risk assessment methods were used and for the warehouse dispatch department Snook and BAUA ergonomic risk assessment methods were used and, at the end of the study improvement suggestions have been made.

It is seen that the studies in the automotive industry are generally carried out on the assembly line by using the REBA. This study was done on welding lines. Measurements were made by using REBA and BAUA which are used for ergonomic risk analysis of the work performed by using the whole body, improvement work has been done and the results of the two methods were compared. Thus, the comparison results of REBA and BAUA shown in practice, will contribute to the literature.

Method

Working posture disorders caused by some ergonomic risk factors in the working environment, are of great importance in terms of occupational health and safety. Awkward working posture is defined as one of the main causes of MSD. With the analysis of working postures, the level of exposure to ergonomic risk factors can be determined, high-risk tasks can be identified and the risk level can be reduced by performing remedial studies for risky tasks [22]. Mostly observational methods are used when making an ergonomic risk analysis. It is seen that many risk assessment methods are used when the studies in the literature are examined. These methods differ according to the body part used during the study and other factors that paid attention [25].

Rapid Entire Body Assessment (REBA)

The REBA method developed by Hignett and McAttamney, is a method that determines the risk levels of postures depending on the loads on the body, neck, leg, upper arm, lower arm and wrists of the employee and the static / dynamic posture during a working [16]. The REBA method is one of the most preferred methods because it is a practical method that can be applied according to the schemes of body parts that do not require much expertise, based on direct observation [26].

The body parts are divided into two groups as A and B when determining the REBA score of a working posture according to the REBA:

- Group A: Body, Neck and Leg
- Group B: Upper arm, Lower arm and Wrists

A score consisting of the combination of these scores is determined with the help of Figure 1 (Table A) given in by determining the individual scores of the trunk, neck and legs. A score is obtained by adding the Carried Load / Force score to this score. A score consisting of the combination of these scores is determined with the help of Table (B) given

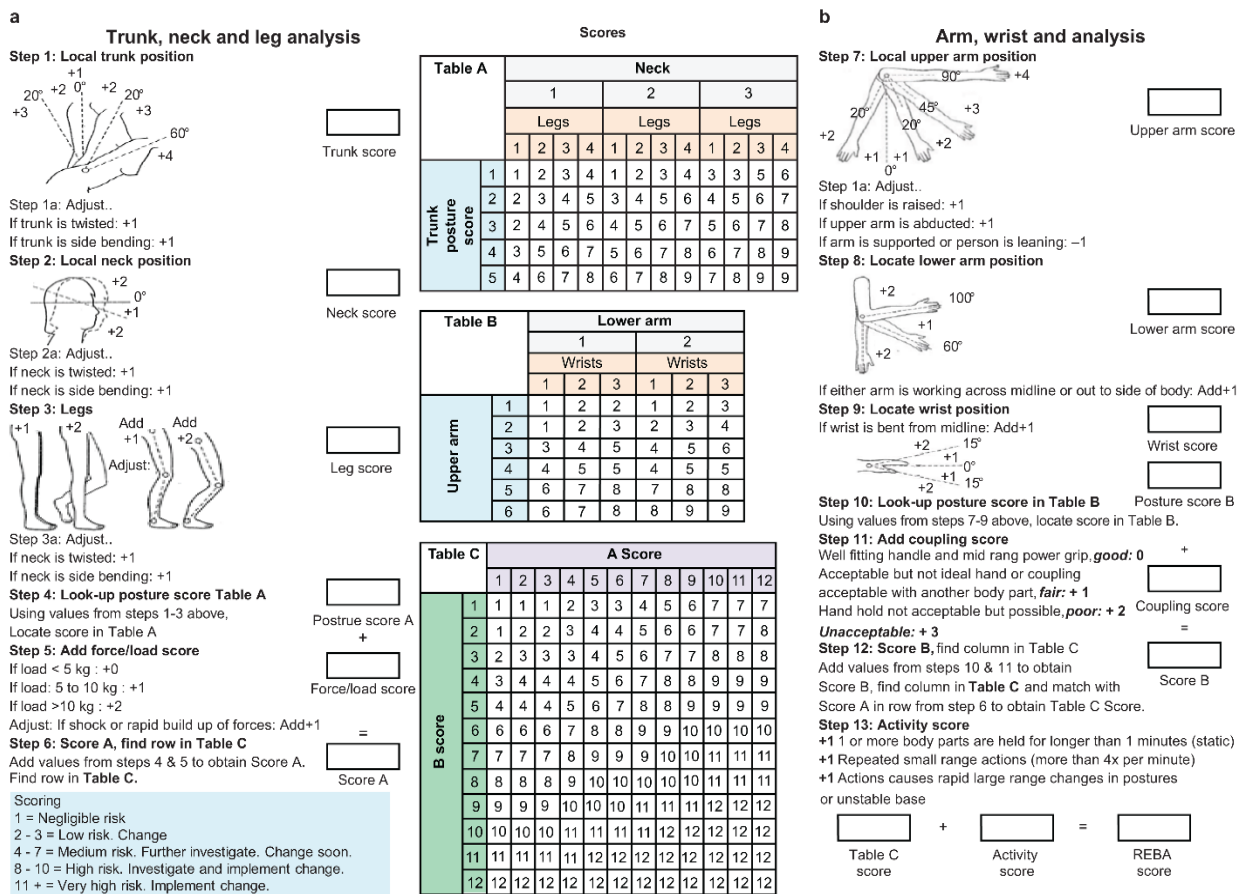


Figure 1. REBA analysis system [16].

in Figure 1 by determining the scores of the upper arm, lower arm and wrist separately. Score B is obtained by adding the coupling score to this score [27].

Figure 1 shows the REBA implementation steps. The score A is obtained by adding the load / force score to the score obtained from Table A. The score B is obtained by adding the coupling score to the score obtained from Table B. In the next stage, the C score is obtained by overlapping the A and B scores on Table C (See Figure 1 for REBA Table A, B and C). Finally, a single REBA score is obtained by adding the activity score to the C score [28]. The REBA score takes a value between 1 and 15. The degrees of these scores, risk levels and measures to be taken, are shown in Table 1.

Table 1. REBA risk levels.

Level	REBA score	Risk level	Measurement
0	1	Negligible	Not necessary
1	2-3	Low	Change may be needed
2	4-7	Mid	Change soon
3	8-10	High	Investigate and implement change
4	11-15	Very high	Implement change

Evaluation Method of the Germany Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAUA)

This method developed by the Germany Federal Institute for Occupational Safety and Health is ensuring the evaluation according to scientific measurements of the strain limit of holding-lifting and transport tasks (LMM-1, Leitmerkmalmethoden, Key feature methods), push-pull

tasks (LMM-2) and manual handling tasks (LMM-3), taking into account legal requirements. It provides the opportunity to be evaluated according to the criteria [29]. BAUA is used for manual holding and placing task or for various lifting and displacement operations [22]. The criteria and scores considered, vary according to the type of task performed. The risk coefficient is calculated as a result of the evaluation. The steps of the method are detailed below.

The most critical point of this method is the calculation of the time weighting score (TWS). For TWS, it is first necessary to decide whether the task is lifting-relocating, holding or carrying. In determining the TWS, the number of daily work done in lifting-displacement, the holding time while doing the work in one day in holding and the distance traveled while doing the work in transport determine the TWS.

BAUA (LMM-1) Steps for Holding, Lifting, Transportation Works

Step 1: Determining the TWS

When determining the TWS, it is necessary to decide whether it is holding, lifting-displacement or holding-transport work [5]. The TWS is determined by taking into account the number of repetitions in a day for lifting-displacement works, the total number of holding per day for holding works, and the total distance during the transportation process in a day [30]. The TWS are shown in Table 2.

Step 2: In step 2, (A) the load weighting score, (B) posture and load position weighting score and (C) application conditions score are determined. Table 2 shows how to score for step 2.

Table 2. BAUA (LMM-1) steps for holding, lifting, transportation works [31].

LMM-1 TWS						(A) Load weighting score			
Lifting and Relocation (<5s)		Holding(>5s)		Transport(>5s)		Active force (male)	Load weighting score	Active force (female)	Load weighting score
Number of work done in a day	TWS	Total time in one day	TWS	Total distance in one day	TWS				
<10	1	>5 min.	1	<300 m	1	<10 kg	1	<5 kg	1
10<...<40	2	5<...<15 min.	2	300<...<1000 m	2	10<...<20 kg	2	5<...<10 kg	2
40<...<200	4	15<...<60 min.	4	1<...<4 km	4	20<...<30 kg	4	10<...<15 kg	4
200<...<500	6	1<...<2 hr	6	4<...<8 km	6	30<...<40 kg	7	15<...<25 kg	7
500<...<1000	8	2<...<4 hr	8	8<...<16 km	8	≥40 kg	25	≥25 kg	25
≥1000	10	≥4 hr	10	≥16 km	10				

(C) Application conditions weighting score		(B) Posture and load position weighting score	
Application conditions	Weight score	Image	Description
Good ergonomic conditions; e.g. sufficient space, unobstructed work area.	0		The top of the body is upright, cannot be turned/ Load on the body (+1)
Limited mobility, poor ergonomic conditions; e.g. low ceiling and, less than 1.5 m ² working area.	1		Very slight bending or turning the upper body/ Load on or near the body (+2)
Very restricted freedom of movement or variable center of gravity of the load.	2		Excessive bending down or forward / Turning the upper part of the body (+4)
			Turning the upper part of the body when leaning too far forward/Squatting (+8)

Step 3: Determining the LMM-1 results score

LMM-1 risk factor; It is calculated by adding the scores of all conditions determined in Step 2 and, multiplying it by the TWS (Equation 1).

$$LMM - 1 \text{ risk factor} = TWS * (A + B + C) \quad (1)$$

BAUA (LMM-2) Steps for Push-Pull Works

Step 1: Determining the TWS

Evaluating TWS, the distance at once (less than or more than 5 meters), the total number of work performed if the distance covered is less than 5 meters, and the daily total distance if it is more than 5 meters [29]. The evaluation details of the TWS are shown in Table 3.









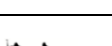
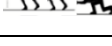
Step 2: In step 2, (A) the auxiliary tool weighting score, (B) the movement speed weighting score, (C) the body position weighting score and (D) application conditions weighting score are determined. Table 3 shows how to score for step 2.

Step 3: Determining the LMM-2 result score

LMM-2 risk factor; It is calculated by adding the scores of all conditions determined in Step 2 and, multiplying by the TWS (Equation 2). Assuming that the performance of a female is lower than of a male in the result evaluation, the result will be multiplied by a factor of 1.3 for female employees [22].

$$LMM - 2 \text{ risk factor} = TWS * (A + B + C + D) * 1.3 \quad (2)$$

Table 3. BAUA (LMM-2) steps for push-pull works [31].

LMM-2 TWS				(A) Auxiliary tool weighting score							
Push-pull for short distances or push-pull with frequent stops (<5m at a time)		Push and pull activities over long distances (> 5m at a time)		Roll loading without tools	Wheel barrow	Wheel table	Pallet truck, forklift	Manipulator			
Work performed in a day		Total in one day		Mass to move (Rolling)							
Pcs per day	Score	Daily total distance	Score		< 50 kg	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
< 10	1	< 300 m	1	50 kg<...<100 kg	1	1	1	1	1		
10<...<40	2	300 m<...<1 km	2	100 kg<...<200 kg	1.5	2	2	1.5	2		
40<...<200	4	1 km<...<4 km	4	200 kg<...<300 kg	2	4	3	2	4		
200<...<500	6	4 km<...<8 km	6	300 kg<...<400 kg	3		4	3			
500<...<1000	8	8 km<...<10 km	8	400 kg<...<600 kg	4		5	4			
>1000	10	>16 km	10	600 kg<...<1000 kg	5			5			
				> 1000 kg							
(B) Movement speed weighting score				(C) Body position weighting score							
Position sensitivity		Movement speed		Sliding		10 kg<...<25 kg		2			
		Slow	Speed			25 kg<...<50 kg		4			
		< 0.8 m/s	0.8-1.3 m/s	> 50 kg							
Minor: Movement way is arbitrary.		1	2								
Major: The place where the load will be placed is definite.		2	4								
(D) Application conditions weighting score						Body is upright, there is no turn (+1)					
Good: The flooring is stable and flat, not slippery; dry; no slope.		1				Upper body slightly bent forward or slightly twisted (One-Way Pull) (+2)					
Limited: The flooring is not flat, it is dirty, softly; Inclined up to 2°.		2				Body is too skewed in the direction of movement, kneeling, crouching (+3)					
Difficult: Non fixed and unstable road paved with rough stones.		4				Skewing and turning together (+4)					
Very difficult: Steps and stairs on the road, all limited and difficult conditions exist together		8									

BAUA (LMM-3) Steps for Manual Holding

The LMM-3 risk assessment method is used for works involving medium effort and normal work. These works are generally performed by standing with moderate force and therefore cause static load accumulation on legs, back and shoulders as well as hand and arm muscle loads due to repetitive movements [23].

Step 1: Determining the TWS


The TWS is found by using table shown in Table 4,

Table 4. LMM-3 TWS [31].

Process total time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TWS	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5

Table 5. BAUA (LMM-3) steps (A&B) for manual holding [31].

(A) Weighting value of the finger / hand according to holding or carrying

Force in the finger or hand (types)		Holding					Transport				
		Average Holding Time					Average repetition movement				
		Seconds per minute					Repetitions per minute				
		60-31	30-16	15-20	<4	<1	1-4	5-15	16-30	31-60	>60
Level	Identification and typical examples	Weight Score									
Low	Very low Force	2	1	0.5	0	0	0.5	1	2	3	
	Low Force	3	1.5	1	0	0	1	1.5	3	5	
	Medium Force	5	2	1	0	0.5	1	2	5	8	
	Big strength	8	4	2	0.5	1	2	4	8	13	
	Very Big Force	12	6	3	1	1	3	6	12	21	
	Peak Force	19	9	4	1	2	4	9	19	33	
High	Hit: e.g. with the thumb, hand, or ball of the punch	-	-	-	1	1	3	6	12	21	
<i>The higher score (left and right hands separately) should be used to calculate the total score rating values</i>		Rating points of force application:					Left hand:		Right hand:		

(B) Force transmission / holding conditions weighting score

Force transmission, holding conditions	Score
Optimum force transmission, easy to hold work objects	0
Limited force transmission, greater holding forces required	2
Difficult to transmission (slippery, soft, sharp edges)	4

Step 3: Determining the LMM-3 result score

LMM-3 risk factor; the scores of all conditions determined in Step 2 are summed and calculated by multiplying by the TWS (Equation 3) [23].





$$LMM - 3 \text{ risk factor} = TWS * (A + B + C + D + E + F) \quad (3)$$

according to the process time determined by calculating the total duration of the handwork performed during a shift.

Step 2: In step 2, (A) weighting score of the finger / hand according to holding or transport, (B) the weighting value of force transmission and holding conditions, (C) hand / arm position and movement weighting score, (D) work organization value weighting score, (E) the weighting value of the application conditions and (F) body posture weighting score are determined. Table 5 and Table 6 show how to score for step 2.

Risk scores calculated according to all three BAUA LMM methods are evaluated according to the risk rating table shown in Table 7, and measures should be taken according to risk scores ranging from low to high load between 1-4.

Table 6. BAUA (LMM-3) steps (C, D, E & F) for manual holding [31].

(C) Hand / arm position and movement weighting score	
	Good: positions or movements of joints in the middle (relaxation) range
	Limited: occasional range of motion at the limit of positions (+1)
	Impractical: Frequent positions at the border of the limits range of motion (+2)
	Poor: fixed positions of the joints at the border of their range of motion or movements (+3)

(D) Work organization weighting score		Score
Frequent variation of load situation		0
Rare variation of load situation		1
No/hardly any variation of load situation		2

(E) Application conditions weighting score		Score
Good: reliable recognition of detail, no dazzle, good climatic conditions		0
Limits: impaired detail recognition, draughts, cold, wet		1





(F) Body posture weighting score determination	
	Good: alternation of sitting and standing is possible/
	Limited: trunk with slight inclination of the body towards the area of action, occasional gripping above shoulder height (+1)
	Unfavorable: trunk clearly inclined forward posture for detail recognition, frequent gripping above shoulder height (+2)
	Poor: trunk severely twisted and inclined forward (+5)

Table 7. BAUA risk rating table [31].

Risk	Field	Risk Score	Assessment
1		< 10	Low load; health is unlikely to occur.
2		10 ≤ ... < 25	Medium load; Physical overload is possible for less flexibility persons.
3		25 ≤ ... < 50	High load; normally, physical overload.
4		≥ 50	Very high load; physical overload is likely to appear.

Application

In this study, evaluation and improvement studies were carried out on the welding line where the physical stress is the highest. These are manual welding line using fixed spot machine, welding line with gun, arc welding repair line, and pedal welding line. Although there is more than one employee performing each operation in the enterprise, since the way of operation does not differ between employees, REBA and BAUA analysis were performed by randomly selecting an employee in the production line. First of all, the employees in the designated areas were observed, and their body position during the task were evaluated in detail by

taking photos over video recordings.

In a welding line, an employee does more than one type of work at the same time, according to the task sequence. Body posture is not always in the same position and changes in a static way. When evaluating with the REBA, each body posture of the employee was evaluated according to the rules of the method and the highest score was taken into account in order to determine the highest workload.

For the evaluation with BAUA, first of all, the type of work was determined and it was determined which of the LMM-1, LMM-2 or LMM-3 groups would be used. Risk scores were found by evaluating the workload according to the appropriate technique.

Fixed Spot Welding Line

Welding process is performed by applying electric current and pressure to the part placed in the fixed spot machine. The employee takes the part from the hanger, places it on the machine and completes the process by holding the part with one hand and pushing the start button with the other. The tasks in the manual welding line are manual welding in the fixed spot machine, part handling in intermediate processes and part hanging trolley pushing. Employees' body postures during the operations are shown in Figure 2.



Figure 2. Manual welding line. (a) manual welding in the fixed spot machine, (b) part handling in Intermediate processes, (c) part hanging trolley pushing.

a. Manual welding in the fixed spot machine: After the employee places the part in the spot machine, he pushes the start button with his left hand and performs 4 spot welding sequentially (Figure 2a). Part weight is 2.8 kg. REBA score is given in Figure 3. The result of the evaluation is REBA score of 7. It is assessed as "medium level" ergonomic risk.

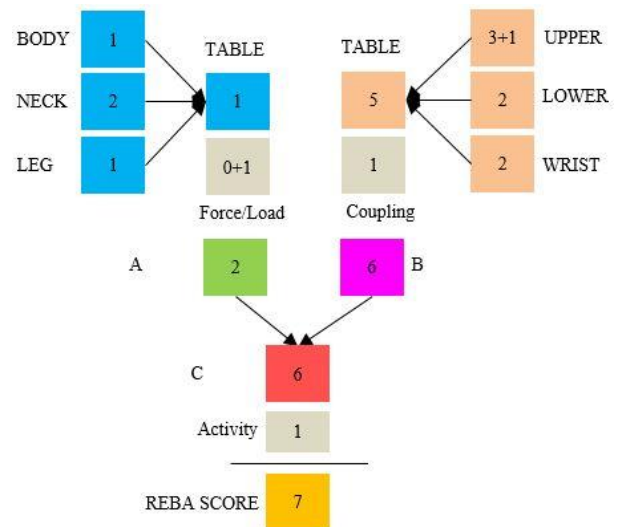


Figure 3. REBA score for manual welding with fixed spot machine

REBA scores are given in Table 8 for the current and after improvement studies of all processes.

Table 8. REBA risk assessment.

Process	Process item	Current	Improved
Manual welding line	Manual welding with fixed spot machine	7 "mid"	3 "low"
	Part handling	4 "mid"	2 "low"
	Part hanging trolley pushing	6 "mid"	-
Arc welding line	Putting the part to the pallet	10 "high"	3 "low"
	Pallet push	5 "mid"	-
	Arc welding repairs	3 "low"	-
Pedal welding/ assembly line	Box push	4 "mid"	-
	Countersinking operations	5 "mid"	1 "negligible"
Manual welding line with balancer gun	Putting the part to the pallet	4 "mid"	-
	Manual welding with balancer gun	10 "high"	2 "low"
	Welding in pneumatic jig	2 "low"	-

The manual welding process in the fixed spot machine was evaluated in the LMM-3 group, since it is in the manual work group according to the BAUA. The set part production time is 54.4 seconds in total and the amount of production per shift is 216 pcs. The TWS is 2, since the total process time in the shift is 3.2 hours. According to the measurements made, the total force the employee is exposed to is 10.6 kgf, it is considered as a very high load

and the force weight score is determined as 12 since it is a holding process of 54.4 seconds. The evaluation details are shown in Table 9 and the evaluation score is determined as 46 points. According to this value, the risk level is "3" and the load generated during the process is high. The employee's body posture while performing the procedure is inappropriate.

Table 9. BAUA LMM-3 risk assessment.

Process	Process item	Method	Step 1	Step 2						Step 3	Risk Level	Explanation
			TWS	A	B	C	D	E	F	Assessment		
Manual welding line	Manual welding with fixed spot machine	Current	2	12	2	3	2	2	2	$2*(12+2+3+2+2+2)=46$	3	High load
		Expected	1	2	0	1	1	1	1	$1*(2+0+1+1+1+1)=6$	1	Low load
Arc welding line	Arc welding repairs	Current	1.5	4	0	1	0	0	1	$1.5*(4+0+1+0+0+1)=9$	1	Low load
		Expected	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pedal welding/assembly line	Countersinking operations	Current	1	2	3	1	1	0.5	$1*(19+2+3+1+1+0.5)=26.5$	3	High load	
		Expected	1	3	0	1	1	0	0	$1*(3+0+1+1+0+0)=5$	1	Low load
Manual welding line with balancer gun	Welding in pneumatic jig	Current	3	1	2	0	0	0	0	$1*(1+2+0+0+0+0)=9$	1	Low load
		Expected	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

An improvement proposal has been developed to minimize sudden loads during manual welding on the spot machine. Cartesian robot system was introduced to the work area by adding a linear slide sliding mechanism, servo motor, servo drive and PLC instead of manual process (Figure 4). After the employee puts the part on the machine, he pushes the button and the welding process is carried out with automation. Thanks to the automation system of the production in the slide jig, the weight of the force that the employee is exposed to has been reduced to 0 kgf per day. Thus, the unsuitable situation in the employee's body posture has been eliminated.

The time for placing the part on the machine is 38 seconds *216 pieces = 0.2 hours / shift and the TWS is 1. The applied force weight point has decreased to 2. Table 8 shows the result of the ergonomic risk assessment made

after the improvement. The evaluation score is 6 and accordingly, the risk level has dropped to "1". As a result of the improvement suggestion, the REBA score is also reduced to 3 (low load).

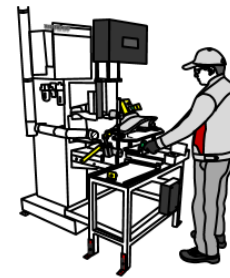


Figure 4. Working with a linear slide cartesian robot.

Table 10. BAUA LMM-1 risk assessment.

Process	Process item	Method	Step 1	Step 2			Step 3	Risk level	Explanation
			TWS	A	B	C	Assessment		
Manual welding line	Part handling	Current	8	2	2	1	$8*(2+2+1)=40$	3	High load
		Expected	8	1	1	0	$8*(1+1+0)=16$	2	Mid load
Arc welding line	Putting the part to the pallet	Current	7	3	3	2	$7*(3+3+2)=56$	4	Very high load
		Expected	3	2	1	1	$3*(2+1+1)=12$	2	Mid load
Pedal welding/assembly line	-	Current	-	-	-	-	-	-	-
		Expected	-	-	-	-	-	-	-
Manual welding line with balancer gun	Putting the part to the pallet	Current	4	1	4	1	$4*(1+4+1)=24$	2	Mid load
		Expected	-	-	-	-	-	-	-

b. Part handling in intermediate processes: Since holding, lifting and handling is done during this work, it was evaluated in LMM-1 group according to BAUA. The part weight is 2.8 kg and 216 pieces are produced in 1 shift. A part is lifted and transported 4 times. $216 * 4 = 648$ semi-finished products are transported in one shift, it is in a work group that takes less than 5 seconds. TWS is 8, because it has an average weight of 10.5 kg the load significance is 1 and the position score is 2 due to it bends slightly while transporting. The risk score is 32, risk level is high load (3). Evaluation scores are given in Table 10. According to the REBA, the score is 4 and it is evaluated as "medium load" ergonomic risk.

An improvement proposal has been developed that can minimize sudden loads. The suggestion was to place a conveyor belt in order to ensure transportation between equipment within the line (Figure 5). Thus, the semi-finished product is placed on the belt with the small support of the employee and the sudden load placed on the employee has been removed. As a result of the improvement suggestion, the BAUA LMM-1 level was reduced to medium load (2) and the REBA score to 2 (low load).

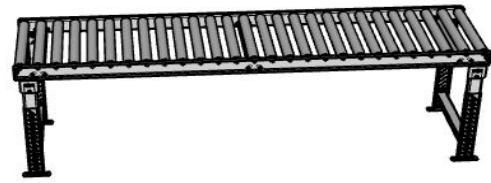


Figure 5. Conveyor belt.

c. Part hanging trolley pushing: Since it is a push-pull work, it is evaluated in the LMM-2 group of the BAUA. There are 20 parts in each trolley. For the 216 parts produced during the shift ($216/20$), 11 times full and 11 empty trolley, a total of 22 pulling operations are performed. The TWS is 2. The full trolley weight towed is $20\text{pcs} * 3.3\text{kgf (full)} + 20 * 0.5\text{kgf} = 76\text{kg}$. The auxiliary vehicle is wheeled and the corresponding weight score is 1. Since the trunk is upright and there is no rotational movement, the body position score is 1. Evaluation scores are given in Table 11. The risk score is 6 and the risk level is "1", it is in the low load group. REBA score is 6 and it was assessed as "medium load" ergonomic risk. There is no health threat.

Table 11. BAUA LMM-2 risk assessment.

Process	Process item	Method	Weight	Step 1	Step 2				Step 3	Risk level	Explanation
				TWS	A	B	C	D	Assessment		
Manual welding line	Part hanging trolley pushing	Current	50-100 kg	2	1	1	1	0	$2 * (1+1+1+0) = 6$	1	Low load
Arc welding line	Pallet push	Current	<10kg	2	3	1	2	1	$2 * (3+1+2+1) = 7$	2	Mid load
Pedal welding/ assembly line	Box push	Current	<10kg	2	1	1	1	1	$2 * (1+1+1+1) = 8$	1	Low load
Manual welding line with balancer gun	Manual welding with balancer gun	Current	35kg	10	0.5	1	2	1	$10 * (0.5+2+1+1) = 45$	3	High load
		Expected	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Arc Welding Line

Arc welding is the process of joining sheet metal parts of metal melted between two parts with the heat generated by the electric arc. Arc welding is done with arc robots. Works evaluated in arc welding line; putting the part to the pallet, pallet push and cleaning the burrs remaining on the 19.8kg part after arc welding, tapping etc. are manual works. The employees' body postures during the process are shown in

Figure 6.

a. Putting the part to the pallet: REBA evaluation of all works has been made at the line, the body posture while performing the work with the highest REBA score is shown in Figure 6a. The highest score occurs in the work where he takes the 19.8 kg part from the repair stand and places it to the pallet. REBA score is 10 (Table 8). It is assessed as a "high load" ergonomic risk.



Figure 6. Arc welding line. (a) putting the part to the pallet repairs, (b) pallet push, (c) arc welding.

a. Putting the part to the pallet: REBA evaluation of all works has been made at the line, the body posture while performing the work with the highest REBA score is shown in Figure 6a. The highest score occurs in the work where he takes the 19.8 kg part from the repair stand and places it to the pallet. REBA score is 10 (Table 8). It is assessed as a "high load" ergonomic risk.

According to the BAUA, 300 lifting times per shift are performed for the work of putting the part to the pallet evaluated in the LMM-1 group. TWS is 7. Evaluation scores are given in Table 10. The risk score is determined to be 56 and there is an overload.

In order to minimize the ergonomic risk level in the production station, a manipulator has been placed in the pallet placement area (Figure 7). Thanks to the manipulator system, direct contact with the part is eliminated and ergonomic handling is provided. Since the total holding time in a shift is 15 minutes, the TWS is 3. As a result, the risk level could be reduced to the medium load (Table 10). The REBA score was reduced to 3 "low load".



Figure 7. Part placement to the pallet with the manipulator.

b. Pallet push: The evaluation scores of the pallet pushing work evaluated in the LMM-2 pushing works group according to the BAUA are given in Table 11. The risk score is 13.5 and the risk level is "2", physical overload is possible and health problems may occur. REBA score is 5. It is assessed as "medium load" ergonomic risk.

c. Arc welding repairs: Repairs are carried out by applying force with the help of a motorized hand gun. It is evaluated in the LMM-3 group according to the BAUA. Processing

time per part is 21 seconds. The TWS is 1.5. Scoring details are given in Table 11. The risk score is "9", the risk level is in the low load. The REBA score is 3 and it is in the "low load". Health risk is unlikely as the ergonomic workload is low.

Pedal Welding / Assembly Line

Pad mounting, tightening, robot arc welding works are performed in the pedal welding / assembly line according to the order of work. Among these, the works with a higher risk level compared to other works are box pushing and countersinking, shown in Figure 8.



Figure 8. Pedal welding / assembly line. (a) box push, (b) countersinking.

a. Box push: It is shown in Figure 8a. The employee puts the box with 6 pedals inside by pushing it onto the self. and pushes the 4 boxes by stacking them on top of each other. Part weight is 2 kg. REBA details are given in Table 8. The REBA score of the evaluation is 4. It is assessed as "medium load" ergonomic risk.

Box pushing work is evaluated in LMM-2 group according to BAUA. The TWS is 2. Evaluation scores are given in Table 11. The risk score is 8 and the risk level is "1", physical overload is unlikely. No health risks are expected.

b. Countersinking: It is the process of making conical or cylindrical slots in pre-drilled holes. While holding the part with the left hand, countersinking is performed with the right arm, moving from top to bottom. During the process, $103.6 \text{ N} / 9.806 = 10 \text{ kg}$ load affects the right arm. The REBA score is 5 and the risk level is "medium load".

Countersinking process is evaluated in LMM-3 group according to BAUA since it is mostly manual work that creates workload in hand-arm-shoulder area. Since the total working time in a shift is less than 1 hour, TWS is 1. Other criteria are also evaluated in accordance with the tables and the risk level is "3", the load is high.

In order to reduce the risk, the countersink machine has been automated (Figure 9), and the process of performing the operation with arm power has been eliminated. After the part is placed in the machine, the process is completed by pushing the start button. Thus, the applied force weight point, which was 19 in the first case, was reduced to 3. Table 9 shows the LMM-3 risk assessment result after

improvement. Risk level "1" is minimized as under load. The REBA score has also been reduced to 1.



Figure 9. Automatic countersinking machine.

Manual Welding Line with Balancer Gun

In the current station, the employee welds 13 spot with the balancer gun. After setting the part on the machine, the employee welds by pulling / pushing the 15-20 kg hanging guns. The process is performed while standing, holding the heavy gun at the appropriate distance and keeping the neck in front. Assessed works; welding with balancer gun, putting the part to the pallet and welding in pneumatic jig (Figure 10).

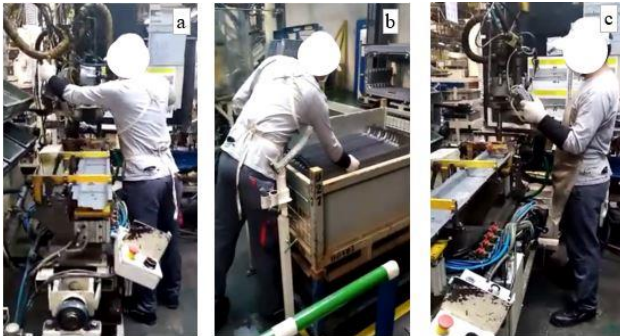


Figure 10. Manual welding line with balancer gun. (a) manual welding with balancer, (b) putting the part to the pallet, (c) welding in pneumatic jig.

a. Manual welding with balancer gun: The REBA score of the manual welding with gun (Figure 10a) is 10 (See Table 8). It is assessed as a "high level" ergonomic risk.

According to the BAUA, it is evaluated in the LMM-2 group as it is push-pull works. Gun movement has 15 times, 15 frequencies * single person average 120 pieces = 1800 frequency, total gun movement. Accordingly, the TWS is 10. The risk level is "3" against the risk score of 45, and the load during the process is high. In order to minimize the sudden loads during the welding process with the balancer

gun, the use of heavy balancer and the push-pull works accordingly were completely removed by placing a robot in the line. As a result of the improvement suggestion, the REBA score was also reduced to 2 (low load).

b. Putting the part to the pallet: After the welding, the finished parts are placed in the pallet (Figure 10b). Since the pallet placement is mainly lifting and carrying, it is evaluated in LMM-1 group according to the BAUA. It takes 3 seconds to put each part to the pallet. (120pieces*3 / 60 = 6min / day) Accordingly, the TWS is 4. Risk score is 24, while the risk level is "2", ergonomic workload is medium. The REBA score is 4 (medium load).

c. Welding in pneumatic jig: It is the ergonomic workload that occurs during the spot welding after pulling the gun in line with the spot points. It is evaluated in the LMM-3 group according to the BAUA. Spot welding is 150 seconds / part. The processing time per shift is (150*120 / 3600 = 5) 5 hours. Accordingly, the TWS is 3. The risk score is 9 and the risk level is in the low load. The body posture of this procedure is shown in Figure 10c. REBA score is 2 for spot welding in pneumatic jig. The risk level is low.

Discussion

The results of this study approve that the risk output of both methods depends on the exposures considered and their greatness. The method used to detect the postures where employees find the most difficult, is of great importance. When the REBA and BAUA scores in Table 12 are examined, it is seen that BAUA scores are sometimes higher in most of the similar results. For example, if we look at the results of the pedal welding line in Table 12, the result was found to be medium load according to REBA. The risk assessment of this score is "Improvement may be required". BAUA LMM-3 score is determined as "high load" and according to this score, the risk assessment result is "Improvement is required". In this case, while the improvement work may not be done according to the REBA result, it has become necessary according to the BAUA result. Since the aim of ergonomics studies is to eliminate the risks of MSD, the results that will show where to start the improvement studies should be determined in the most accurate way and no factors should be overlooked.

Table 13 includes the comparison of REBA and BAUA. When we consider the BAUA as a whole as LMM-1, 2 and 3, it can be said that it analyzes more criteria than REBA. Both REBA and BAUA are used for work done using the whole body. The biggest difference between the REBA and BAUA is that the TWS evaluation is always used in the BAUA, and the time is not taken into account in the REBA. In the BAUA, the first thing is that it is necessary to decide whether it is lifting-displacement, holding or transportation work. In BAUA, application conditions according to REBA, force in the finger and hand, movement speed and work organization are also examined.

Table 12. REBA and BAUA scores of four welding lines with ergonomic risk assessment.

	1- Manual welding line with gun		2- Fixed spot welding line		3- Arc welding repair line		4- Pedal welding line	
	Risk Score	Level	Risk Score	Level	Risk Score	Level	Risk Score	Level
REBA	7	Medium load	10	High Load	5	Medium load	0	High Load
LMM-1	40	High Load	56	Very High Load	-	-	24	Medium load
LMM-2	6	Low load	7	Low load	8	Low load	45	High Load
LMM-3	46	High Load	9	Low load	26.5	High Load	9	Low load

Table 13. Comparison of REBA and BAUA

	Body Neck Leg	Upper arm Lower arm Wrist	Load	Coupling	Movement frequency	Time	Application conditions	Movement speed	Force in finger & hand	Work organization
REBA	√	√	√	√	√	X	X	√	X	X
LMM-1	√	X	√	√	√	√	√	X	X	X
LMM-2	√	X	√	X	√	√	√	√	X	X
LMM-3	√	√	√	√	√	√	√	X	√	√

Conclusion

In this study, ergonomic risk assessment is discussed by using REBA and BAUA in automotive supply industry welding lines. By examining all the production lines of the enterprise, risky working areas were determined in welding processes where the physical strains that employees are exposed to are the highest. The compatibility between REBA and BAUA risk assessment methods and the ability of the methods to correctly classify the risk level of four risky tasks were examined and significant differences were found in the ability to identify at-risk tasks as at risk between methods. In order to eliminate risky situations, improvement studies were carried out and post-improvement evaluations were made again.

In the REBA, the body is divided into two as upper and lower body for each posture and, evaluation is made according to the angles of the limb during posture. The total score is calculated by the combination of neck, body, and upper and lower limb positions. The angular postures that will occur in the limbs depending on the task done will vary according to the height of the employee and it varies according to the short or tall employees.

If different tasks are done consecutively, it is not easy and correct to evaluate them jointly. In such cases, a more detailed analysis of the task is required to make a risk assessment. The BAUA provides a multidimensional assessment that fulfills simple legal requirements in determining the strain limit according to scientific criteria of the task. This method is a helpful tool in determining the compliance of working conditions with social and labor laws as well as medical and scientific perspectives of the

task. The most important factor that distinguishes this method from other methods is the determination of the TWS according to the frequency of repetition, duration or distance covered. In addition to the posture of the body limb while performing the task, the level of force applied to the finger and hand area as well as the hand-arm position, the evaluations in the loading according to other tasks and the application conditions such as the clarity of the task, noise, moisture and air flow, are also evaluated.

As can be seen in the comparison results of this application in welding lines in the automotive industry, the BAUA is thought to be more successful in a workstation where sequential tasks are performed, allowing more detailed analysis of the tasks performed by using more power and body. The BAUA allows the evaluation of neglected situations in the REBA as more criteria are taken into account.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared.

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared.

References

- [1] E. Dizdar and M. Kurt, "A rule-based system approach for safety management in hazardous work systems," *Pamukkale University Engineering College Journal of Engineering Science*, vol. 4, no. 3, pp. 743-747, March 1998.

- [2] M. Akyol, "Analysis of working positions in textile workshop by REBA," M.S. thesis, Dept. Ind. Eng., Çukurova Univ., Adana, Turkey, 2017.
- [3] M. Taghipour, M. Mahboobi, A. Nikoiefar and E. Soofi Mowloodi, "Analysing the effects of physical conditions of the workplace on employee's productivity (including case study)," *International Journal of Environmental Protection and Policy*, vol. 3, no. 4, pp. 111-119, July 2015, doi: 10.11648/j.ijep.20150304.15.
- [4] B. Özoğul, B. Çimen and E. Kahya. "Ergonomic risk analysis in a metal industry operation," *Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 6, pp. 159-175, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.359123>.
- [5] B. Acar, D. Şahin, E. Kahya and İ. Sarıçipek, "Ergonomic risk assessment in stove assembly line," *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskisehir Osmangazi University*, vol. 27, no. 1, pp. 21-39, Apr. 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.455487>.
- [6] F. Tanır, R. Güzel, H. İşsever and U. Polat, "Musculoskeletal disorders in an automotive manufacturing plant and the outcomes of ergonomics and exercise training in workers who used sick leave," *Turk J. Phys. Med. Rehab.*, vol. 59, no. 3, pp. 214-21, 2013, doi: 10.4274/tftr.28482.
- [7] G.C. David, "Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorder," *Occup. Med. (Lond)*, vol. 55, no. 3, pp. 190-199, May 2005, doi: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>.
- [8] K. Hemati, E. Kabir-Mokamelkhan, M.S. Ghasemi, M. Mohseni-Ezhiye, M. Aghilinejad, Y. Abdolalian and M.A. Salehi, "Dehghan N. Ergonomic intervention to reduce musculoskeletal disorders among flour factory workers," *Work*, vol. 67, no. 3, Oct. 2020, doi:10.3233/WOR-203275
- [9] S. Taşan and B. Felekoğlu, "Application of integrated ergonomic risk assessment in the automotive sector," *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, vol. 21 no. 1, pp.378-96, March 2019, doi: 10.25092/baunfbed.548546.
- [10] D. Akay, M. Dağdeviren and M. Kurt, "Ergonomic analysis of working postures," *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, vol. 18, no. 3, pp.73-84, Apr. 2003.
- [11] M. Calzavara, M. Faccio, A. Persona and I. Zennaro, "Walking worker vs fixed worker assembly considering the impact of components exposure on assembly time and energy expenditure," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 112 no.10, pp. 2971-88, Feb. 2021, doi: 10.1007/s00170-020-06438-9.
- [12] M. Mahboobi, M. Taghipour and M.A. Azadeh, "Assessing ergonomic risk factors using combined data envelopment analysis and conventional methods for an auto parts manufacturer," *Work IOS Press*, vol. 67, no. 1, Feb. 2020, doi:10.3233/WOR-203257.
- [13] H. Esen and N. Fıglalı, "Working posture analysis methods and the effects of working posture on musculoskeletal disorders," *SAU J. Sci.*, vol. 17, no. 1, pp. 41-51, Apr. 2013.
- [14] B. Felekoğlu and S. Taşan, "Ergonomic risk assessment for work-related musculoskeletal disorders: A systematic reactive / proactive integrated approach," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi Univ.*, vol. 32, no. 3, pp. 777-93, Sep. 2017, doi: 10.17341/gazimmfd.337625.
- [15] P. Deryaoğlu, H. Ulusu and T. Gündüz, "Investigation of musculoskeletal disorder risks in the meat transporting process," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 25, no. 4, pp. 513-518, Jan. 2019, doi: 10.5505/pajes.2019.64624.
- [16] S. Hignett and L. McAtamney, "Rapid entire body assessment (REBA)," *Applied Ergon.*, vol. 31, no. 2, pp. 201-205, Apr. 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3).
- [17] H. Atıcı, D. Gönen and A. Oral, "Ergonomic analysis of postures causing strain on employees with REBA method," *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 3, no. 3, pp. 239-44, Dec. 2015.
- [18] B. Ulutaş and T. Gündüz, "Ergonomics risk analysis in automobile cable manufacturing," *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 107-120, Agus. 2017, doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.336440>.
- [19] C. Ertaş and Y. Bulut, "Ergonomy activities in press department," *Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 5 pp. 13-22, March 2017, doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.08944>.
- [20] E. Sakalar, "The analysis of ergonomic risk factors in an assembly line with REBA method: an application in the automotive industry," M.S. thesis, occupational health and safety graduate program, İzmir University of Economics, İzmir, Turkey 2018.
- [21] O. Ülker, "Evaluation of challenges in sofa manufacturing by the BAUA Ergonomics," vol. 3, no.1, pp. 45-54, Apr. 2020, doi: 10.33439/ergonomi.704024.
- [22] M. Sevimli, H. Ulusu and T. Gündüz, "Improving working conditions of employees at rice packaging with ergonomic risk analysis," *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 38-54, July 2018, doi: 10.25092/baunfbed.369102.
- [23] D. Yüce, "Ergonomic risk assessment by baua LMM methods in automotive sector: technical service studies case analysis," M.S. thesis, Health Sciences Ins., Dept of Occupational Health and Safety, Üsküdar University, İstanbul, Turkey, 2019.
- [24] N. Berber "Investigation of ergonomic risk analysis with REBA, BAUA, NIOSH and SNOOK tables: an application for food sector," M.S. thesis Health

- Sciences Ins., Dept of Occupational Health and Safety, Üsküdar University, İstanbul, Turkey, 2020.
- [25] Y. Yener, G.F. Can and P. Toktaş, "A job rotation proposal considering physical strain and perceived workload level," *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskisehir Osmangazi University*, vol. 27, no. 1, pp. 9-20, Apr. 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.498317>.
- [26] M. Joshi and V. Deshpande, "Investigative study and sensitivity analysis of Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 79, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103004>.
- [27] H. Sağıroğlu, M.B. Coşkun and N. Erginel, "The ergonomics risk analysis with REBA of work stations in production line," *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 3, no. 3, Dec. 2015, pp. 339-345.
- [28] E. Ekinci and G.F. Can, "Evaluation of workers' ergonomic risk levels considering working postures and perceived workload with multi-criteria decision making approach," *Ergonomics*, vol. 1, no. 2, pp. 77-91, Agus. 2018, doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.478732>.
- [29] G. Yavuzkan, K. Kaya, M.C. Yağız, M. Erdem M and I. Acar, "Ergonomic risk analysis software work safety and health ergonomic risk mapping," *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 3, no. 3, pp. 603-614, Dec. 2015.
- [30] F. Babalık, "Mühendisler için Ergonomi İşbilim," 6nd ed., Bursa, Turkey, Dora, 2016, pp. 123-135.
- [31] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), German Occupational Safety and Occupational Medicine Institution Evaluation Method Tables. URL: www.BAuA.de (Available: 20.01.2021).



Investigation of the Effect of Drill Bit Feature on Hole Surface Quality and Tool Wear

Murat KIYAK*

Yildiz Technical University, Department of Mechanical Engineering, İstanbul
kiyak@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9906-8683, Phone: (0212) 383 28 01

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 July 2021
Received in revised form 10
September 2021
Accepted 20 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

Twist drill bits, hole surface
roughness, tool wear

ABSTRACT

Drilling operations have an important role in manufacturing industries and the application range is about 33% among the machining methods. In drilling processes, hole quality is affected by workpiece material, drilling parameters, drill diameter, drill bit features.

In this study, the surface quality of the hole and the drill bit wear were investigated experimentally when drilling AISI 1040 steel and Al7075 aluminum workpieces with twist drills. Three different types of twist drill bits (polished, rolled and TiN coated) with diameters of 8 mm and 10 mm were used for drilling.

Hole surface roughness was investigated at the hole entry and hole exit. While revealing the surface quality change at the hole entry-exit, the effect of the drill feature difference on the surface quality has been tried to be determined. In general, hole surface quality decreased with increasing drill bit diameter when drilling both materials. The lowest surface roughness values were obtained in the use of TiN coated drill bits. Drill bit wear was also measured in the study, and it was seen that the drill bit wear increased with increasing drill bit diameter. The least drill bit wear value was also observed in TiN coated drill bits.

Doi: 10.24012/dumf.1002180

* Corresponding author

Introduction

Today, in the manufacturing industry, although the manufacturing methods are quite advanced, the drilling method is still one of the most widely used machining methods, and its application rate is about 33% among all machining methods. The most important parameters in drilling are cutting speed and feed. These parameters directly affect the cutting temperature, cutting forces, tool wear, hole surface quality and hole geometry. Hole surface quality is an important factor for machine parts to operate at the desired efficiency. In drilling, chip control is difficult due to the formation of swarf inside the hole, which affects the cutting forces, cutting temperature and therefore the quality of the drilled hole. In the drilling process, in addition to the surface roughness, there are situations that affect the hole quality such as burr formation at the hole exit, circularity and offset in the hole axis. Hole quality also depends on various conditions such as cutting speed, feed, drill bit geometry and material, drill bit manufacturing characteristics, and workpiece material. Drill geometry, material and the technological properties of the drill bit have a significant impact on hole surface quality. Along with these factors affecting the surface

quality, drilling parameters and the resistance of the workpiece to machining will cause tool wear.

In this study, 20 mm thick workpieces made of AISI 1040 steel and Al 7075 aluminum alloy materials, which are widely used in the manufacturing industry, were drilled with HSS drill bits produced with three different technologies (rolled, polished, TiN coated). Drill bits with diameters of 8 mm and 10 mm were used in the study. Hole surface roughness at the hole entry and hole exit were examined, while revealing the surface quality change at the entry-exit, it was tried to determine the effect of the drill feature difference on the surface quality. The literature research conducted within the scope of these topics examined in the study is given in detail below.

Literature Review

The literature review on the subject was made in two groups, especially on the drilling of workpieces from steel and aluminum materials, based on the studies carried out in the last ten years. The research focused especially on hole surface quality and tool wear. Marui et al. [1] stated that with increasing cutting speed, generally better hole surface quality is obtained, but high cutting speeds negatively affect hole cylindricality. Kılıçkap et al. [2]

carried out experimental studies in the drilling of AISI 1040 steel material with 8 mm diameter TiN coated HSS drill bit, under MQL, compressed air and dry chip removal conditions. In the study, they chose the cutting speed in the range of 5-15 m/min and the feed in the range of 0.1-0.3 mm/rev. For the same feed rate, they determined that when the cutting speed is increased three times, the surface roughness of the hole increases-deteriorates by about 55%. It was found that the surface roughness increased with the increase of feed rate, depending on the cutting speed. Garg et al. [3] selected a feed of 0.01-0.02 mm/rev and a cutting speed of 12 m/min-37 m/min in the drilling of AISI H11 steel material at a depth of 10 and 20 mm using 10 mm diameter TiAlN coated carbide drills. They observed that the hole surface roughness increased by 43% when the feed rate was doubled. They also observed that the hole surface roughness increased by 70% when the hole depth was doubled from 10 mm to 20 mm. Ankalaki et al. [4], in their study, stated that the surface roughness decreases with the increase of cutting speed and stated that the basic condition of reducing the production cost and improving the quality by minimizing the errors in any manufacturing industry is to determine the appropriate working parameters. Naemah et al. [5] studied the drilling of Fe360B steel material with HSS drill bits with diameters of 10 mm and 12 mm, with different drill bit angles between 900 and 1400. They applied the cutting speed as 30 m/min and the feed in the range of 0.1-0.3 mm/rev. In the study, it was revealed that the surface roughness decreased with the increase of the spindle speed (cutting speed) and the drill bit angle, and the surface roughness increased with the increase of the drill diameter. Kamdani et al. [6] studied the drilling of 316 L steel material with an 8 mm diameter uncoated carbide drill bit for 15 mm. Cutting speed 41 m/min, feed 0.10-0.15 mm/rev. It was observed that the surface roughness increased by about 30% with an increase of 50% in the feed rate. Krivokapić et al. [7] studied the drilling of 42CrMo4 steel material with 3 mm, 5 mm and 8 mm diameter HSS drill bits. They applied the cutting speed as 20 m/min and the feed as 0.03, 0.05 and 0.10 mm/rev. Drilling depths were chosen as 9 mm, 15 mm, 24 mm, 3 times the drill diameters. At the same cutting speed, the roughness increased as the feed rate increased. They stated that the surface roughness increased at the hole exit under all experimental conditions. Wegert et al. [8] examined the temperature and wear in the drilling zone. They stated that with a drill bit, the temperature value increased to 150°C after three dry drilling operations. It was also noted that the outer edge of the cutting tool had higher wear. Sharif et al. [9] performed 10 mm drilling of 316 L steel material with a 4 mm diameter uncoated carbide drill bit, and investigated the tool wear and hole surface quality. They chose the cutting speed as 18 m/min and 25 m/min, and the feed in the range of 0.03-0.06 mm/rev. They reached the reference wear value of 0.3 mm at the end of 20 holes at a cutting speed of 18 m/min at 0.03 mm/rev feed and at the end of 7 holes at a cutting speed of 25 m/min at 0.06 mm/rev feed. They observed that tool life decreases as cutting speed and/or feed increases. In addition, they stated that when

the cutting speed increased by 38%, the surface roughness values of the holes decreased by approximately 23% and better surface quality was achieved. Jindal [10] used HSS drill bits in the diameter range of 5-12 mm for drilling mild steel materials. He chose the cutting speed in the range of 8 m/min to 22 m/min and the feed in the range of 0.11-0.14 mm/rev. In these selected working conditions, the minimum (30 µm) wear value at the lowest cutting speed and the maximum (190 µm) wear value at the highest cutting speed were determined. Akıncioğlu et al. [11] drilled 7 mm thick AISI D2 steel using 5 mm diameter uncoated carbide, TiN coated carbide and TiAlN coated carbide drill bits. They chose the cutting speed in the range of 50-65 m/min and the feed as 0.0063 mm/rev and 0.08 mm/rev. At the same drilling conditions, the TiN-coated drill bit produced approximately 23% better surface quality than the uncoated drill bit. They stated that while the uncoated drill bit creates higher surface roughness, the increase in feed causes an increase in the surface roughness, and the coated drill bit provides 3 times better tool life than the uncoated drill bit. Saleem et al. [12] applied drilling to 104 mm thick AISI 1045 steel material with an 8 mm diameter uncoated HSS drill bit, with 3 mm and 5 mm steps. In the study, the cutting speeds were chosen as 6 m/min and 15 m/min, and the feed rate as 10 mm/min, 15 mm/min, 20 mm/min. Surface roughness was measured at the hole entrance and exit, and it was stated that higher surface roughness occurred at the hole exit under all conditions. It has been stated that the determined wear values are formed as steep curves for the first 100 µm due to the rapid initial wear. Nouari et al. [13] applied 25 m/min cutting speed and 0.04 mm/rev feed in their study on drilling AA 2024 aluminum material with 6 mm diameter uncoated HSS drill bit. They stated that the surface roughness increased by 25% in the creation of three holes at the drilling depth determined as 8 mm, compared to the case of drilling a single hole. They stated that the increase in surface roughness was caused by tool wear. In addition, they stated that HSS drills are not suitable for dry drilling of aluminum alloys, regardless of the cutting speed used. Haq et al. [14] studied the drilling of LM 25 aluminum material with a TiN-coated 10 mm HSS drill bit at different tool tip angles. The cutting speed was selected in the range of 35 m/min to 88 m/min, the feed in the range 0.050 mm/rev to 0.200 mm/rev. The hole depth is 20 mm. In the study, the surface roughness was measured between 2.22 µm and 8.27 µm. Kurt et al. [15] drilled Al 2024 aluminum with 10 mm diameter uncoated HSS, TiN coated HSS and TiAlN coated HSS drill bits. They chose the cutting speed between 30 m/min and 60 m/min, and the feed between 0.15 mm/rev and 0.25 mm/rev. The hole surface roughness determined under these test conditions are between 3.95 µm and 7.90 µm. Giasin et al. [16] studied Al 2024 aluminum drilling with a 6 mm diameter drill bit at different cutting speeds and different feed rates. They stated that surface roughness increased with increasing spindle speed and feed rate, and the effect of feed rate on surface roughness was greater than spindle speed. Sreenivasulu et al. [17] optimized the surface roughness and circularity deviation of drilled holes

in different aluminum materials (2014, 6069, 6061, 7075) especially used in the automotive and aerospace industries. Experimental studies were carried out with drill bits of different diameters and tip angles, at different cutting speeds and different feed rates. Surface roughness values ranging from 0.15 μm to 0.56 μm were determined. Elajrami et al. [18], in their study on drilling Al 2024 aluminum material using HSS drill bit, the cutting speed was chosen between 15 m/min and 22 m/min, and the feed was between 0.3 mm/rev and 0.8 mm/rev. They stated that there was a 166% difference between the selected parameters and the lowest and highest surface roughness values obtained. Fıçıcı et al. [19], in their study on drilling Al 7075 aluminum material at 20 mm and 30 mm depth by using HSS and TiN coated HSS drill bits, found that the cutting speed was between 15 m/min and 25 m/min, the feed was 0.05 mm/rev. It was selected in the range of 0.15 mm/rev. With the selected parameters, the smallest surface roughness value obtained was 1.00 μm , the highest surface roughness value was 3.00 μm .

The manufacturing industry focuses on producing high quality products at minimum cost. In this respect, the results of the literature review are given above in detail and quantitatively, so that tool selection and parameter determination can be made, depending on the expectations, in order to find answers to possible demands in the relevant manufacturing areas. In addition, within the scope of the subject, the results of the literature for the targeted studies are given below qualitatively. It is stated that in steel workpieces, under the same drilling conditions, TiN coated drill bits give good results and the surface quality of holes created by carbide drill bits is better than holes created with high speed steel drill bits. In the drilling of aluminum alloy workpieces, it has been observed that the cutting speed does not affect the hole surface roughness at low feed rate, but the surface roughness decreases as the cutting speed increases, and the surface roughness increases as the feed increases. In the literature, it is seen that as the feed rate increases, the surface roughness increases and tool wear also affects the surface roughness. It can be noted that the new drill bit reduces the surface roughness compared to the worn drill bit. In all studies, high cutting speed and low feed generally appear to result in better hole surface quality.

In this study, the effects of spiral drill bits with different properties on hole surface roughness and drill bit wear were experimentally investigated on two different workpiece materials, which are widely used in the manufacturing industry.

Material and Methods

Drilling processes were carried out in FIRST brand MCV-300 model CNC machining center. The experiments were carried out under dry cutting conditions. In Figure 1, experimental studies and experimental design are given schematically.



Figure 1. Experimental design and setup

Three different HSS spiral drill bits with 8 mm and 10 mm diameters, rolled, polished and TiN coated were used. The general specifications of the drill bits are given in Table 1.

Table 1. Properties of HSS spiral drill bits used in experiments.

Drill type	Properties and views of drill bits	
DIN338 Rolled (8-10 mm)	ISO 235, N type 118°	
DIN338 Polished (8-10 mm)	ISO 235, N type 118°	
DIN338 TiN Coated (8-10 mm)	ISO 235, N type:135°	

In the selection of workpiece materials, their widespread use in the manufacturing industry was taken into account, and the drilling parameters were determined by considering the relevant literature and application principles.

The chemical composition and mechanical properties of AISI 1040 steel and Al 7075 used in the experiments are given in Table 2 and Table 3. Al 7075 aluminum alloy is preferred in the aerospace industry, but its machining is more difficult than other aluminum alloys due to its high strength.

Table 2. Chemical composition and mechanical properties of AISI 1040 steel

% C	% Fe	% Mn	% P	% S
0.37-0.4	98.6-99.0	0.60-0.90	<0.04	<0.05
Hardness (HV)	Tensile Strength Ultimate	Tensile Strength Yield	Shear Modulus (GPa)	
155	525 (MPa)	290 (MPa)	80	

Table 3. Chemical composition and mechanical properties of Al 7075 Aluminum alloy

Al %	Cr %	Cu %	Mg %	Mn %	Zn %
87-91	0.18-0.2	1.2-2	2.1-2.9	0.30	5.1-6.1
Up to 100 mm	Tensile Strength Ultimate		Tensile Strength Yield		Hardness
	533 (MPa)		462 (MPa)		150 (HB)

The feed rate was taken as 0.1 mm/rev, taking into account the drill bit specifications and the relevant literature [2, 5, 10, 12, 13, 15, 18, 19]. The cutting speeds determined according to the material of the workpieces are given in Table 4.

Table 4. Cutting speeds according to drill bit properties and diameter

	Diameter of drill (mm)	Cutting speed (m/min)	
		AISI1040	Al7075
DIN 338 Rolled	8	32	38
	10	32	47
DIN 338 Polished	8	32	38
	10	32	47
DIN 338 TiN Coated	8	40	38
	10	40	47

Experimental Results and Discussion

Surface quality of the hole

In the experiments, 20 mm thick workpieces were drilled through. Experiments were repeated three times, using a new drill bit in each experiment. Mitutoyo brand SJ-210R model surface roughness tester was used to measure the Arithmetic Average Roughness (Ra) values. Hole surface roughness was measured from both the hole entrance and hole exit to determine the effects of drilling parameters and tool wear. The measurements at the entry were measured 5 mm after the drill entry surface, and the measurements on the exit side were measured 5 mm before the drill exit surface. Surface roughness measurements were measured from 90° different points both at the inlet and at the exit, and the average values were taken. Depending on the drill diameter and the workpiece material, the surface roughness values obtained

using rolled, polished, TiN coated HSS spiral drill bits are graphically shown in Figure 2 and Figure 3. In Figure 2, the values obtained when drilling the steel workpiece are given, and it is seen that drilling with TiN coated HSS drills in both 8 mm diameter and 10 mm diameter gives much better results in terms of surface roughness at hole entry and exit. Figure 2 shows that TiN coated drill bits contribute positively not only to wear resistance but also to surface roughness. It can be stated that this is due to the low friction coefficient of the coating material, which facilitates the chip flow and positively affects the surface roughness. In drilling AISI 1040 steel, the surface roughness of the hole exit increased with increasing drill diameter for all drill bit types.

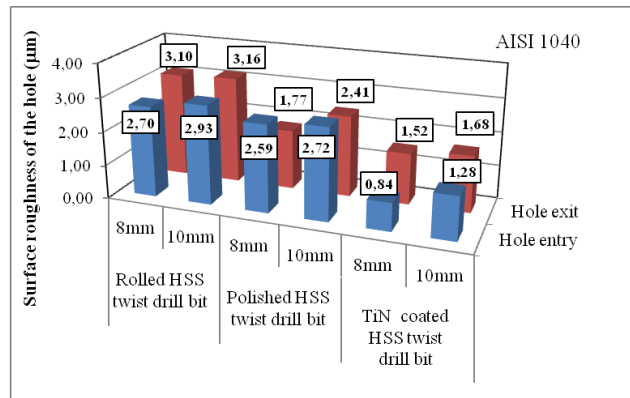


Figure 2. Hole surface roughness measured in AISI 1040 steel workpiece

As seen in Figure 3, the lowest surface roughness was observed with the TiN coated drill bit at the hole entry and hole exit for both drill diameters when drilling Al7075 aluminum alloy material.

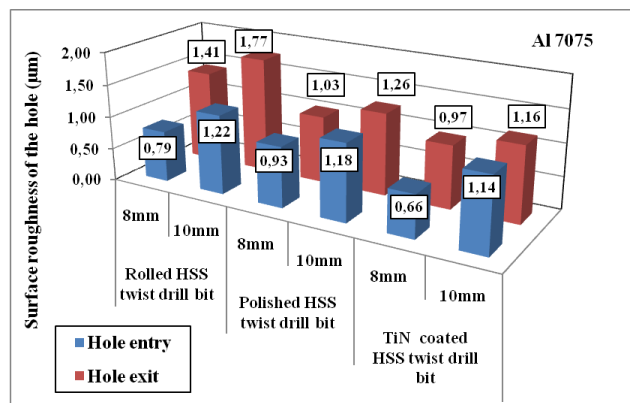


Figure 3. Hole surface roughness measured in Al 7075 aluminum alloy workpiece

In the literature [5], it is stated that the surface roughness increases as the drill diameter increases. The values obtained as a result of the study are quite compatible with

the relevant literature. In addition, in the literature [7, 12], it is stated that there is more surface roughness at the hole exit under all experimental conditions. In this respect, the results are in line with the literature. In the literature [12], it is stated that the surface roughness is 35-50% lower at the hole entry compared to the hole exit, and the surface quality is worse at the exit. Due to the friction of the chip in the hole and the wear of the tool, the surface quality is relatively poor at the exit part of the hole. It has been observed that TiN coated HSS drill bit provides better surface roughness than uncoated HSS drill bits. This situation is quite compatible with the relevant literature [11].

Drill bit wear

SOIF brand microscope and OSM brand ocular micrometer with 0.1 μm precision were used to measure the wear values of drill bits. The measurement of the average width of the wear area was made according to the ISO 1993:3685 standard. The wear images of drilling Al 7075 material with 10 mm diameter drill bits with different features are given in Figure 4.

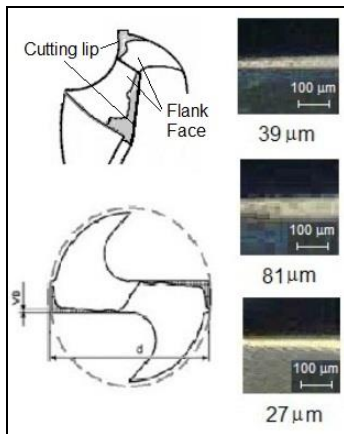


Figure 4. Wear images of drill bits with different properties

The wear values of the drill bits are given in Figure 5. The following evaluation has been reached in the drilling of both materials used in the experiments and whose hardness values are close to each other.

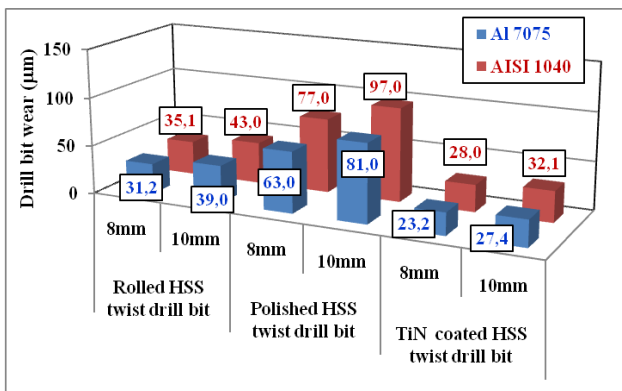


Figure 5. Wear of drill bits

Minimum wear was determined when drilling the aluminum workpiece with a TiN coated drill bit. TiN coating increases the wear resistance of the drill bit. The wear values occurring in drill bits with different properties and different diameters are seen in TiN coated, rolled and polished drill bits, respectively. In the study of drilling AISI 1045 steel with an 8 mm diameter HSS drill bit, it has been stated in the literature[12] that the determined wear values occur as steep curves for the first 100 μm due to the rapid initial wear. The reason for the highest wear value observed in ground HSS drill bits is thought to be due to the rapid wear of the cutting edges in the rapid initial wear zone [12]. In the study, it is seen that the determined wear values are compatible with the relevant literature. Akıncioğlu [11] stated that the coated drill bit provides 3 times better tool life than the uncoated drill bit. Since the hardness of the Al 7075 material is close to the hardness of the AISI 1040 material, it caused tool wear as much as the tool wear in the machining of mild steel, since its machinability is not very good due to its hardness. In the literature [10], for drilling mild steel with HSS drill, wear values of 30 μm in 5 mm drill bit and 190 μm in 12 mm drill bit were measured. Increasing drill diameter also affects tool wear. It was observed that the drill bit wear values increased with the increase of the drill bit diameter. It is seen that the measured wear values are in good agreement with the literature [10]. Experimental results showed that drill bit wear increased with increasing drill bit diameter

Depending on the tool wear, the volume of metal removed per unit wear was determined and given in Figure 6. When the wear graph (Figure 5) is examined, it is seen that more wear values are measured in large diameter drills, which is in line with the relevant literature. However, when the wear values are proportioned considering the hole volumes, it is seen that the chip volume removed by the large diameter drill bits is higher. The wear values per unit chip volume removed are given in Figure 5. It is observed that large diameter drill bits have less wear per cm³ of removed volume for each drill bit specification and material type. This graph, which can be an important selection criterion for hole cost, can be evaluated together with current drill costs and can provide an approximation in terms of possible tool life based on material removal rate.

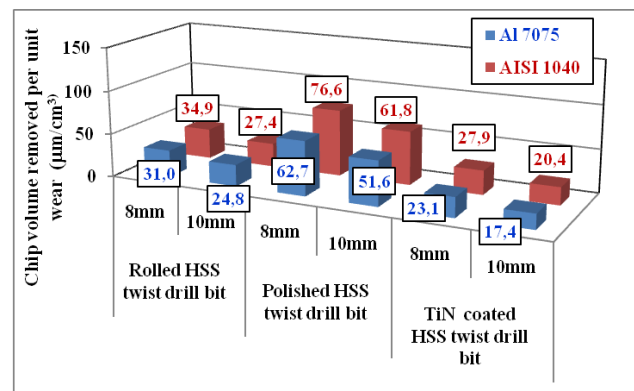


Figure 6. Removed chip volume per unit wear value

In Figure 6, lower values mean better results. In this regard, coated HSS drill bits appear to perform quite well in drilling both materials.

Conclusion

In this study, the effects of drill bit properties on wear of drill bits and surface roughness at hole entry and hole exit were investigated when drilling different workpiece materials.

- In general, hole surface quality decreased with increasing drill bit diameter when drilling both materials. When drilling AISI 1040 material with 8 mm drill bits, TiN-coated drill bits provided 59.3% better surface quality than rolled drill bits and 46% better than polished drill bits. In the case of drilling with a 10mm drill bit, TiN-coated drill bits provided 51.3% better surface quality than rolled drill bits and 42.27% better than polished drill bits. When Al 7075 material is drilled with an 8 mm drill bit, TiN coated drill bits provide 25.9% better surface quality than rolled drill bits and 17.3% better than polished drill bits. In the case of drilling with a 10mm drill bit, TiN-coated drill bits provided 22.9% better surface quality than rolled drill bits and 5.65% better than polished drill bits.
- It is seen that 8 mm TiN coated drill bit wears 25.64% less than the rolled drill bit and 63.17% less than the polished drill bit when drilling Al 7075 material. It is seen that the 10 mm TiN coated drill bit wears 29.74% less than the rolled drill bit and 66.17% less than the polished drill bit. When drilling AISI 1040 material, it is seen that the 8 mm TiN coated drill bit wears 20.23% less than the rolled drill bit and 63.64% less than the polished drill bit. It is seen that the 10 mm TiN coated drill bit wears 25.35% less than the rolled drill bit and 66.91% less than the polished drill bit.
- The preferred drill bit type, such as rolled, polished or TiN coated, is an important criterion for hole cost. Considering the wear value depending on the chip volume removed, an approximation can be provided for the probable tool life and drill cost. In the experimental studies carried out with selected parameters, it was observed that the minimum surface roughness was achieved with TiN coated HSS drills and the minimum tool wear occurred in TiN coated HSS drills when drilling both materials. TiN coated HSS drills provide advantages in terms of manufacturing costs due to their low wear values and use at high cutting speeds. However, it should not be overlooked that TiN coated HSS spiral drill bits can have negative results in continuous use when drilling Al materials due to the reaction of the coating with the workpiece material.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared.

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared.

References

- [1] H. Endo, T. Murahashi and E. Marui, "Accuracy estimation of drilled holes with small diameter and influence of drill parameter on the machining accuracy when drilling in mild steel sheet", *Int. J. of Mach. Tools & Manuf.*, vol. 47, pp. 125-181, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.02.001>
- [2] E. Kilickap, M. Huseyinoglu and A. Yardimeden, "Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI1045 using response surface methodology and genetic algorithm", *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, vol. 52, pp. 79-88, 2011, <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2710-7>
- [3] S. Garg, G.K. Goyal, "A study of surface roughness in drilling of AISI H11 die steel using face centered design", *IJIRST Int. J. for Innovative Research in Sci.&Tech.* vol. 1, no. 12, pp.464-474, 2015, ISSN: 2349-6010
- [4] S. Ankalagi, V.N. Gaitonde and P. Petkar, "Experimental Studies on Hole Quality in Drilling of AS182 Steel", *Materials Today:Proceedings*, vol. 4, no. 10, 11201-11209, 2017, ISSN 2214-7853 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.041>
- [5] I.M. Naemah, K.N. Abed and A.A. Shehab, "Investigation the effect of cutting parameters on surface roughness in drilling operation of steel Fe360.B, 2nd Int. Symp. on Multidisciplinary Studies and Innovative Tech.(ISMSIT)", pp. 1-5, 2018, <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8567056>
- [6] K. Kamdani *et al.*, "Study of cutting force and surface roughness on drilling stainless steel 316 L under various coolant condition", *Key Engineering Materials*, vol. 791, pp. 117-122, 2018, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.791.116>
- [7] Z. Krivokapić *et al.*, "Modelling surface roughness in the function of torque when drilling", *Metals*, vol. 10, no. 3, pp. 337, 2020, <https://doi.org/10.3390/met10030337>
- [8] R. Wegert *et al.*, "Temperature monitoring in the subsurface during single lip deep hole drilling", *Techn. Messen*, vol. 87, no. 12, pp. 757-767, 2020, <https://doi.org/10.1515/teme-2020-0055>
- [9] A.Z. Sultan, S. Sharif and D. Kurniawan, "Effect of machining parameters on tool wear and hole quality of AISI 316L stainless steel in conventional drilling",

- Procedia Manufacturing*, vol. 2, pp. 202-207, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.035>
- [10] A. Jindal, “Analysis of tool wear rate in drilling operation using scanning electron microscope (SEM)”, *J. of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 43-54, 2012, https://www.scirp.org/pdf/jmmce20120100004_99370832.pdf
- [11] S. Akıncıoğlu *et al.*, “ANN-based prediction of surface and hole quality in drilling of AISI D2 cold work tool steel”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 68, pp.197–207, 2013, <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4719-6>
- [12] S. Khan *et al.*, “Deep hole drilling of AISI 1045 via high-speed steel twist drills: evaluation of tool wear and hole quality”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 93, pp. 1115–1125, 2017, <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0587-4>
- [13] M. Nouari *et al.*, “Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys”, *Int. J. of Machine Tools and Manuf.*, vol. 45, no. 12–13, pp. 1436-1442, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.01.026>
- [14] A.N. Haq, P. Marimuthu, and R. Jeyapaul, “Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method”, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, vol. 37, pp.250–255, 2008, <https://doi.org/10.1007/s00170-007-0981-4>
- [15] M. Kurt, E. Bagci and Y. Kaynak, “Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 40, pp. 458–469, 2009, <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1368-2>
- [16] K. Giasin *et al.*, “Assessment of cutting forces and hole quality in drilling Al2024 aluminium alloy: experimental and finite element study”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 87, pp. 2041–2061, 2016, <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8563-y>
- [17] R. Sreenivasulu and C.S. Rao, “Optimization of surface roughness, circularity deviation and selection of different aluminium alloys during drilling for automotive and aerospace industry”, *Ind. J. of Manag. & Produc. (IJM&P)*, vol. 7, no. 2, pp. 413-430, 2016, <https://doi.org/110.14807/ijmp.v7i2.414>
- [18] M. Ramzi *et al.*, “Effect of drilling parameters on quality of the hole”, *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, vol. 11, no. 5, pp. 202-209, 2017, ISSN:1991-8178 EISSN: 2309-8414
- [19] F. Fıçıcı, “Evaluation of surface roughness in drilling particle-reinforced composites”, *Adv. Composites Letters*, vol. 29, pp. 1–11, 2020, <https://doi.org/10.1177/2633366X20937711>



İnşaat projelerinde iş değişikliği emri takibi ve hak taleplerinin yönetimi üzerine bir vaka araştırması

A case study on change order tracking and claim management in construction projects

Betül TEMEL¹, G. Emre GÜRCANLI², Senem BİLİR MAHÇİÇEK^{3*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, temelbe@itu.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-0472-3794

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, gurcanlig@itu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-0807-2020

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, sbilir@itu.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6755-7960

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 13 Haziran 2021
Revizyon 28 Temmuz 2021
Kabul 24 Eylül 2021
Online 28 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

*Tasarım değişiklikleri,
Anlaşmazlıklar, İnşaat sektörü*

ÖZ

Dünya ekonomisinde büyük bir öneme sahip olan inşaat sektöründe projeler; teknolojinin ilerlemesi, proje ölççeklerinin büyümesi, tarafların çoğalması, taleplerin çeşitlenmesi ve artması gibi sebeplerden ötürü her geçen gün daha karmaşık hale gelmektedir. Özellikle, inşaat projelerinde meydana gelen iş değişiklikleri inşaat projelerinin başarısını nitelendiren proje süresi, bütçesi ve kalitesi üzerinde büyük etkiye sahip olup, inşaat projelerinin istenilen performansta tamamlanmasına karşı büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, iş değişikliği taleplerinin çok sık olduğu örnek bir proje üzerinden vaka analizleri yapılarak iş değişikliklerinden sistematik takibi ve iş değişikliklerinden doğan hak taleplerinin başarılı bir şekilde yönetilebilmesi için kontrol adımları ve formları oluşturulmuştur. Farklı değişiklik talepleri ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan hak talepleri incelenmiş, bunların proje süresine, bütçesine, iş verimliliğine ve taraflar arası ilişkilere etkileri ortaya konmuştur. Hak taleplerinin hızlı ve doğru yönetilebilmesi için öncelikle iş değişikliği emirlerinin yönetim sürecindeki aksamalar sunulmuş ve sistematik bir iş değişikliği ve hak talebi kontrolü sağlanması amacıyla kontrol adımları ve formları oluşturulmuştur. Bu kontrol adımları, akış şemaları ve formları yardımıyla gerek proje yönetim firmaları gerek yükleniciler gerekse de iş sahipleri hem iş değişikliklerini hızlı yönetebilecek ve projede verim kaybı yaşamayacaklar, hem de tüm proje taraflarını ilgilendiren iş değişikliklerinin ve hak taleplerinin doğru ve sistematik yönetilmesini sağlayabileceklerdir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 June 2021
Received in revised form 28 July 2021
Accepted 24 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

*Design changes, Disputes,
Construction Industry*

Doi: 10.24012/dumf.1002200

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Construction projects have great importance in the world economy and they have been becoming more complex every day due to the advancement of technology, the growth of the project scales, the proliferation of the parties, the diversification and increase of the demands. In particular, changes in construction projects throughout project duration due to change orders or other reasons have a great impact on the project duration, budget and quality, which characterize the success of construction projects, and pose a great threat to the completion of construction projects with the desired performance. Different change requests and the claims arising from them were examined, and their effects on the project duration, budget, work efficiency and relations between the parties were revealed. Control steps and forms have been created to ensure claim control. In this study, control steps, flowcharts and forms were created for the systematic follow-up of job changes and the successful management of claims arising from job changes by conducting case studies on a sample project where job change orders occur frequently. Different change orders and the claims arising from different types of change orders were examined, and their effects on the project duration, budget, efficiency and relations between the parties were revealed. In order to manage claims quickly and accurately, the disruptions and problems in the claim management process due to change orders were presented and control steps and forms were created in order to ensure a systematic job change and claim control. By the aid of these control steps, flowcharts and forms, both project management companies, contractors and owners will be able to manage job changes quickly, not to lose productivity in the project, and to ensure correct and systematic management of business changes and claims that concern all project parties.

Giriş

Günümüze barajları, sanayisi, enerji tesisleri, yolları, hastaneleri, fabrikaları, altyapıları vb. yapıları ile birlikte ülkemizin gelişmekte olan bir ülke olduğunu düşündüğümüzde; gelişimin temel alt yapısını "inşaat" sektörünün oluşturduğunu söyleyebiliriz. Ülkemizde inşaat sektörünün ekonomi içerisindeki başlı başına kendi payı %8 civarındadır. İnşaat sektörü aynı zamanda doğrudan veya dolaylı olarak 200'ün üstünde farklı sektörlere istihdam sağlayarak ve katma değer yaratarak "ekonominin kaldıracı" olma özelliğini de taşımaktadır ve bu sektörler de hesaba katılırsa ekonomi içerisindeki dolaylı yaklaşık payı %30 bandında olmaktadır [1].

İnşaat sektörü Türkiye'de ve Dünya'da ekonominin gelişmesine katkı sağlayan iş kollarının başında gelmesine rağmen ekonomideki iç ve dış hareketlenmelere paralel olarak en çok etkilenen sektörlerin başında gelmektedir. Ekonomik hareketlenmelerle birlikte jeopolitik ve siyasi riskler ve belirsizlikler de inşaat sektörüne olan güvenin azalmasına sebep olmaktadır. İnşaat projelerinin karmaşık ve kompleks bir yapısının olması, mekanik, elektrik, mimari ve inşai başta olmak üzere birçok disiplinin sürece dahil olması ve disiplinlerin birlikte çalışması gerekliliği projelerin bir bütün olarak ilerlemesini ve gruplar arasındaki koordinasyonun sağlanmasını zorlaştırmıştır. Disiplinlerin herhangi birinde meydana gelen bir değişiklik projenin tüm parçalarını büyük ölçüde etkileyebilmektedir. İnşaat projelerinde karşılaşılan "İş değişiklikleri", projenin tipi, büyüklüğü, yapılış amacı ne olursa olsun inşaatın her evresinde ortaya çıkabilen ve tüm inşaat projelerinin maruz kaldığı kaçınılmazı mümkün olmayan ortak bir konudur [2]. Dünyada bu noktada oluşan boşluğun doldurulmasının gerekliliği, insanların kendilerini daha güvende hissedecek ortamda inşaat yatırımı yapmak istemeleri ve yatırımlarının istedikleri süre, kalite ve maliyette gerçekleştirilmesi talepleri Projelerin çok daha iyi yönetilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu sebeple özellikle büyük, karmaşık ya da uluslararası projelerde firmalar proje yönetim şirketleri ile çalışma gereği duymaya başlamışlardır. Söz konusu projelerde ortaya çıkan iş değişikliklerinin proje kalitesi, projedeki işgücü verimliliği, projedeki taraflar arası ilişkiler üzerinde büyük etkilerinin olduğu da tespit edilmiştir. Bazı değişiklikler özellikle iş sahibine uzun vadede fayda sağlıyor gibi görünse de çoğu değişiklikler doğru yönetilmediği sürece muhtemel olasılıkla projenin süresinin uzamasına ve bütçesinin artmasına yol açan kötü sonuçları beraberinde getirir [3]. Bu çalışmada inşaat projeleri boyunca oluşan hak taleplerinin hızlı ve doğru yönetilebilmesi için tasarım öncesi dönemden başlayarak, inşaatın tamamlanması sonrasındaki dönemi de kapsayacak şekilde iş değişikliği emri yönetim sürecindeki aksamalar sunulmuş ve kontrol formları oluşturulmuştur Böylelikle, iş değişikliği kontrol süreçleri ve buna bağlı gelişen hak taleplerinin kontrol süreçlerinin tablo ile sistematik hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Yöntem

Bu çalışmada öncelikle iş değişikliği emri ve hak talebi yönetimi kavramına yer verilmiştir. Ardından, iş değişikliği taleplerinin çok sık olduğu örnek proje hakkında genel bilgiler paylaşılmış, proje yönetimi ve organizasyon sunulmuştur. Ardından, örnek proje üzerinden vaka analizleri

yapılmış ve projede yaşanan iş değişikliği taleplerinin proje bütçesine, süresine, iş gücü verimliliğine, son olarak da taraflar arasındaki ilişkiye etkisi detaylandırılmıştır. Oluşan iş değişikliği ve hak talebi yönetim sürecine yönelik kontrol tabloları hazırlanmıştır. Proje paydaşlarının tasarım öncesi dönemden başlayarak, inşaatın tamamlanması ve hatta proje teslimini de kapsayarak hangi aşamada hangi önlemi alması gerektiğinden bahsedilmiştir.

İş Değişikliği Emri ve Hak Taleplerinin Yönetimi

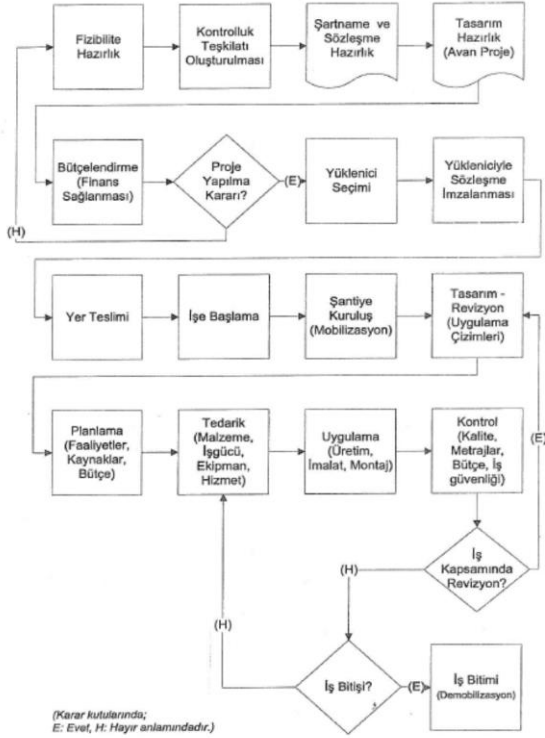
Baxendale ve Schofield (1996), "iş değişikliğini" Yüklenici ve İş Sahibi arasında imzalanan ana sözleşmenin kapsamında yapılan herhangi bir değişiklik olarak tanımlamışlardır [4]. Bu çalışmada da özellikle "iş sahibi" (owner) ifadesi kullanılacak olup, burada Construction Management Association of America (CMAA) tanımları baz alınacaktır [5]. Genel olarak iş değişikliğinin ortaya çıkması sonrasında taraflardan birinin iş değişikliğinin doğurduğu sonuçlara yönelik zararını karşılayacak nitelikte talepte bulunması literatürde "hak talebi" olarak adlandırılmaktadır [6, 7, 8]. Hak talebi, yüklenicinin iş sahibinden, iş sahibinin yükleniciden veya mühendis/mimarardan veya üçüncü kişilerin diğer taraflardan bulunması şeklinde 3 koldan gerçekleşebilir [9]. Yapılan literatür taramalarında iş değişikliğinin ortaya çıkması sonrasında yönetim sürecinin genel olarak beş aşamadan oluştuğu görülmüştür [10,11,12]. Bu aşamalar: (1) Değişiklik talebinin tespit edilmesi ve talebin Mühendis/Mimara iletilmesi, (2) Değişiklik talebinin haklılığının Mühendis/Mimar tarafından değerlendirilmesi, (3) Değişiklik talebi çalışmasının Mühendis/Mimar tarafından analiz edilmesi, (4) Değişiklik talebinin İş Sahibi ve Mühendis/Mimar tarafından onaylanması/reddi, (5) Onaylanan iş emri değişikliği çalışmasının resmîyet kazanması sonrası proje, belge ve dokümanların güncellenmesi, uygulanmaya başlaması şeklinde sıralanmıştır.

Örnek Proje Hakkında Genel Bilgi

Projenin oluşum süreci, kapsamı, tipi, proje sürecine dâhil olan taraflar, ihale süreci vb. konular, projede yaşanan değişikliklerin yatağını oluşturduğu için bu bölümde proje süreci ve kapsamı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Söz konusu çalışma, başından sonuna kadar ilgili projede çalışan proje yöneticisi konumunda olan yazarlardan birisinin, günlük deneyimlerini kapsadığından, tüm süreçleri içermektedir. Öte yandan benzer projelerin de incelenmesi, çalışmanın değerini artıracaktır. Proje konusu, X üretim fabrikasının yapacağı üretim tesisi yatırımının inşaat sürecini kapsamaktadır. Proje kapsamı, üretim binası, yönetim binası ve yardımcı tesisler (güvenlik binaları, akü şarj yapıları, enerji merkezi binası, su deposu) ile birlikte yaklaşık 35.000 m²' dir. Proje bütçesi, sözleşme bedeli 49.500.000 TL'dir. İnşaat sürecinde yaşanan ek işler, kapsamdan çıkarılan işler, değişen işler ile birlikte 57.500.000 TL'ye inşaat tamamlanmıştır. Projenin başlangıç/bitiş tarihleri, tasarım başlangıç: 10.03.2017, inşaat başlangıç: 26.04.2018, inşaat bitiş: 30.06.2019'dur. Sözleşme tipi, anahtar teslimi götürü bedel esaslı sözleşmedir.

Proje Yönetim Firması yönettiği projelerde, genel olarak işin fikir proje aşamasında sürece dâhil olmaktadır. Proje Yönetim Firması bu proje için de benzer şekilde tasarımın fikir aşamasında sürece dâhil olmuş olup ihale sürecini de

yürütmüştür. Kesin kabule kadar proje yönetim sürecinde bulunmuştur. Proje yönetimini ofis kadrosu ve şantiye kadrosu üzerinden yürütmüştür. Ancak "yüklenici ile sözleşme imzalanması" aşamasında işveren tarafından süreç dışı bırakılmıştır. Örnek projeyi yöneten Proje Yönetim Firmasının dâhil olduğu ve yönettiği süreçleri gösteren akış diyagramı Şekil 1'de özetlenmiştir.



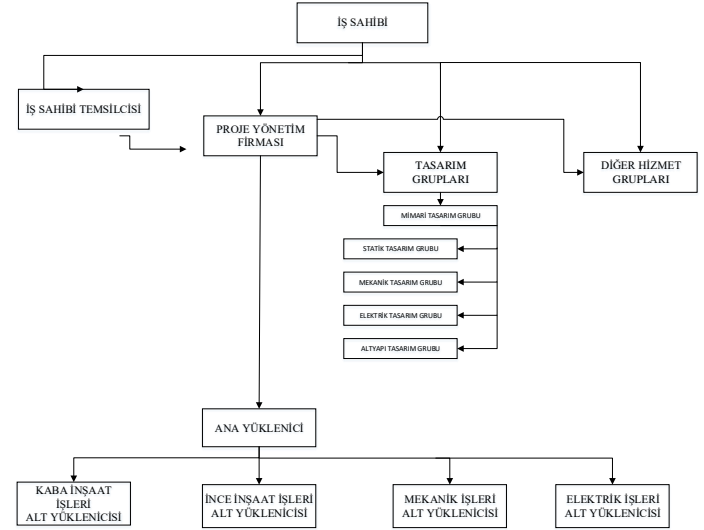
Şekil 1. Proje yönetim firmasının genel akış şeması.

İşveren ise birçok yöneticisi bulunan büyük ölçekli bir üretim firmasıdır. Firma, mevcut tesislerinin ihtiyaçlarını artık karşılamadığı gerekçesi ile yeni tesis yapılması girişiminde bulunmuştur. Bu kapsamda firma kendilerini temsilen projenin başına proje bazlı yöneticiler getirmiştir.

Yüklenici Firma, mekanik, elektrik ve diğer disiplinleri bünyesinde barındıran ana yüklenici sıfatındadır. Yüklenici firma, kendi bünyesinde barındırdığı birçok farklı gruplar ile çalıştığı projelerde çeşitli pozisyonlarda bulunmuş, işi yapabilecek yetkinlikte bir firmadır.

Tasarım firmasının yapısına ve sürece katkılarına bakacak olursak, tasarım gruplarının seçiminde koordinasyonun kolay ve bilgi akışının daha eksiksiz olması açısından mekanik, elektrik, statik, altyapı gruplarını bünyesinde barındıran ana bir Mimari Tasarım Grubu seçmiştir. Böylece uzun süredir birbirini tanıyan ve çalışma alışkanlığı olan farklı disiplinlerin arasında bilgi kopukluğu yaşanmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. İşverenin kararsızlıkları, zaman zaman kapsam değişikliğine gitmesi ve ihtiyaç planını bir türlü netleştirememesinden ötürü 6 ay olarak öngörülen örnek projenin tasarım süreci 1 yılı geçmiştir. Bu süreçte tamamlanan projenin İş Sahibi talebi ile iptal edilerek başka bir tasarıma gidilmesi ve projede yüzlerce revizyon talepleri yaşanmasından ötürü Tasarım Gruplarının çalışma istek ve performansları düşmüştür.

İnşaat sektöründe yaşanan iş değişikliklerini minimize edecek proje yönetim sistemi önerisi getirilebilmesi için öncelikle örnek projeyi yöneten Proje Yönetim Firmasının proje sürecindeki görev tanımı, iş kapsamı ve yönetim sistemi incelenmiştir. Örnek projeyi yöneten Proje Yönetim Firmasının proje süresince projedeki paydaşlar arasındaki rolü ve projedeki organizasyon yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Proje yönetim firmasının projedeki rolü

İncelenen Projede İş Değişikliği Emri Talepleri ve Yönetimi

İş değişikliği emri taleplerinin ortaya çıkmasında, her projenin kendine özel bir sürü sebebi olmakla birlikte örnek projede yaşanan iş değişikliklerinin, değişiklik taleplerinin, krizlerin ve anlaşmazlıkların başlıca sebeplerini, etkilerini ve sebeplerin oluşmasına katkı sağlayan proje taraflarının belirlenebilmesi amacı ile 15 adet örnek olay üzerinden Vaka Analizi yapılmıştır. Ancak sayfa kısıtı nedeniyle tüm vaka analizleri makaleye eklenememiş ve örnek olması amacıyla 4 adet vaka analizi Tablo 1'de paylaşılmıştır.

Bulgular

Örnek Projedeki İş Değişikliği Emri Taleplerinin Proje Üzerindeki Başlıca Etkileri

Örnek proje bütünüyle incelendiğinde ilk dikkat çeken hususlar sırasıyla aşağıda sunulmuştur. İş veren vekillerinin (proje yöneticileri) sözleşme imzalanması sürecinde yüklenici ile birebir görüşmeler ve toplantılar yapması, görüşmelerde alınan kararların ve bu kararların sözleşme eki doküman olarak imzalanması aşamasında bir kontrol mekanizması olan proje yönetim firmasının devre dışı bırakılmış olması inşaat aşamasında yaşanan birçok sıkıntının temelini oluşturmuştur. Yine söz konusu proje bazlı yöneticilerin, yeterli kapasitede ve yetkinlikte olmaması, süreçte baskın karakter olarak rol almaları ve kullanıcıları inşaat sürecinde dâhil etmeleri, iş verenin birçok karar verici yöneticisinin bulunması, her yöneticinin projenin farklı aşamalarında sürece dâhil olması, yine her yöneticinin farklı istekte bulunması ve sürekli iş değişikliğinin yaşanması, iş veren vekillerinin aralarında koordinasyon bulunmaması gibi sebepler, proje sürecinde bir çok iş değişikliği emrine dolayısı ile anlaşmazlıklara neden olmuştur.

Yüklenicinin Proje Yönetim Firması ile çalışma uyumluluğu konusunda pozitif ve negatif yanları olmuştur.

Tablo 1. Örnek projede oluşan hak talepleri vaka analizi örnekleri

Vaka 1

Talep:	Yüklenici, sözleşme eki elektrik ve mekanik projelerin esas alındığı hesap raporlarının yanlış olduğunu, bu sebeple hesapların yeniden yapılarak elektrik projelerinin hazırlanması gerektiğini, bu revizyonlardan dolayı oluşan ilave bedelin de kendilerine ödenmesi gerektiğini beyan etmiştir. Talebini, sözleşme eki zeyilname olan "Sözleşme Dışı İşler" dokümanında yer alan maddeye atıfta bulunarak iletmıştır
Talebin değerlendirilmesi:	İş Sahibi, Anahtar Teslimi İnşaat İşleri Sözleşme yapıldığını ileri sürerek gelen talebi reddetmiştir ve Proje Yönetim Firmasından değerlendirme istemiştir. Proje Yönetim Firması gelen talebi değerlendirmek için öncelikle ana sözleşmeyi ve eklerini incelemiştir. Ana sözleşmede Yükleniciyi niteleyen "basiretli tacir" sıfatı kullanılmasına rağmen, "Sözleşme Dışı İşler" listesinin ana sözleşmeden sonra imzalanmasından ötürü tüm taraflarca öncelikli kabul gördüğünü, sözleşme eki elektrik projelerindeki hesap raporunun yanlışlığından kaynaklı ortaya çıkan revizyon bedelinin Yükleniciye ek iş olarak verilmesi gerektiğini İş Sahibine iletmıştır. Talebin değerlendirilmesi sürecinde İş Sahibi konuyu kriz haline getirse de Yüklenicinin ilave bedel talebi sözleşme ekinde yazılan madde gereği kabul edilmiştir.
Talebi oluşturan sebepler:	Sözleşme ve eklerinin imzalanması sırasında Proje Yönetim Firmasının İş Sahibi tarafından sürece dâhil edilmemesinden dolayı sözleşme ve eklerini detaylı kontrol edecek bir mekanizmanın olmaması, Sözleşme imzalanması sırasında İş Sahibinin yetkilendirdiği yöneticilerin imzaladıkları sözleşmeyi ve eklerini kontrol etmemiş olmaları, Sözleşme ve sözleşme ekleri arasında uyumsuzlukların ve çakışmaların olması.
Etkileri:	Hesapların yeniden yapılması sonucunda projelerin revizyona uğraması ilave maliyet oluşmasına ve iş süresinin uzamasına sebep olmuştur. İş Sahibinin, Anahtar Teslimi İnşaat İşleri Sözleşmesi imzalandığını öne sürerek ve ana sözleşme imzalanmasından sonra imzaladığı "Sözleşme Dışı İşler" dokümanını göz ardı ederek ek bedel talebini kabul etmek istememesi taraflar arasındaki ilişkilerin gerilmesine sebep olmuştur.

Vaka 2

Talep:	İş Sahibi tasarım aşamasında proses ihtiyaçlarını göz ardı etmiş ve inşaat sürecine bırakmıştır. İnşaat sürecinde ise İş Sahibinden proses ihtiyaçlarına yönelik yoğun talepler gelmiş olup bu durum tasarımlarda revizyonlara ve iş değişikliklerine sebep olmuştur. Ayrıca bazı mahallerde proses ihtiyacı bilgisi Yükleniciye imalat tamamlandıktan sonra verilmiştir. Bu durum tamamlanan imalatlarda kırma ve dökme işlerinin yaşanmasına sebep olmuştur. Yüklenici, taleplerini iş emri değişikliği formu hazırlayarak Proje Yönetim Firmasına iletmıştır.
Talebin değerlendirilmesi:	İş Sahibinden gelen proses ihtiyaçlarından kaynaklı talepler, sözleşme eki projelerde olmamasından ötürü ilave iştir. Yüklenicinin bu başlık altındaki ilave iş talepleri değerlendirmeye alınmış ve gelen çalışmadaki metraj ve birim fiyatların Proje Yönetim Firması tarafından düzeltilmesi sonucu çıkan rakam üzerinde Yüklenici ile anlaşmaya varılmıştır
Talebi oluşturan sebepler:	İş Sahibinin proses ihtiyaçlarını tasarım aşamasında göz ardı etmesi ve netleştirmemesinden dolayı bu ihtiyaçların tasarımlara işlenmemesi ve inşaat sürecinde gündeme gelmesi, İş Sahibinin proses ihtiyaçlarını gündeme getirdiği sırada inşaat sürecindeki bir takım imalatların tamamlanmış olması, değişiklik talebi için geç kalınmış olmasından dolayı yapılan imalatların bozulması.
Etkileri:	Tasarımlarda revizyonlara ve yapılan imalatın bozulmasına sebep olmasından ötürü bütçe artışına ve iş süresinin uzamasına sebep olmuştur. İmalatı tamamlanan bölgeler için proses ihtiyaçlarının geç iletilmesinden dolayı yapılan imalatların kırılması ve bozulması gerekmiştir. Bu durum Yüklenicinin çalışma motivasyonunun düşmesine ve çalışma verimliliğinin azalmasına neden olmuştur.

Vaka 3

Talep:	Örnek proje yeşil bina sertifikasına sahiptir. Yeşil bina sertifikası alınması sürecinde projedeki malzeme seçimi, yapının harcayacağı enerji vb. konulardan puan toplanması, projedeki birçok malzeme seçimini etkilemiştir. Yüklenici bu konuyla ilgili birçok iş emri değişikliği talebinde bulunmuştur. Yeşil bina sertifika danışmanı tarafından enerji tasarrufu sağlayan aydınlatma otomasyonu ihale aşamasında talep edilmiş, ancak sözleşme imzalanması sırasında Yüklenicinin sözleşme eki olarak İş Sahibine imzalattığı "Sözleşme Dışı İşler" başlığı altında yazan "Aydınlatma otomasyonu kapsam dışıdır." ibaresinden ötürü aydınlatma otomasyonu kapsam dışında bırakılmıştır
Talebin değerlendirilmesi:	Yüklenici, ihale aşamasında projenin yeşil bina sertifikası kapsamında olduğunu bilmesine rağmen İş Sahibine sözleşme imzalanması sırasında yeşil sertifika sürecinde kullanılması gereken malzemelere ilişkin teklifini vermediğini belirtilen maddelerin yer aldığı ve sözleşme eki olan "Sözleşme Dışı İşler" listesini iletmıştır. Bu maddeler de İş Sahibi tarafından fark edilmeden imzalanmıştır. Yükleniciden gelen talepler projede revizyon olarak kabul edilmiş ve gelen çalışmalardaki metraj ve birim fiyatların Proje Yönetim Firması tarafından düzeltilmesi sonucu çıkan rakam üzerinde Yüklenici ile anlaşmaya varılmıştır.

Talebi sebepler:	oluşturan Yeşil bina sertifika danışmanı tarafından tasarım aşamasında iletilen ve tasarıma yansıyan taleplerin İş Sahibi tarafından imzalanan sözleşme ve eklerinde kapsam dışında bırakılmış olarak gözükmesi, Yeşil bina sertifika alınması kapsamındaki gereklilikler ile sözleşme eki dokümanlar arasında uyumsuzlukların olması, Yeşil bina sertifika alınması kapsamındaki gereklilikler ile sözleşme eki şartname ve birim fiyat tarifleri arasındaki uyumsuzlukların Proje Yönetim Firması tarafından fark edilmemiş olması, Yeşil bina sertifikası alınması kapsamında danışmanlık veren firmanın ve tasarım gruplarının tasarım sürecinde koordineli olarak çalışmaması, danışmanın tasarımların gerekliliklere uyumluluğunu kontrol etmemesi, Tasarım Gruplarının bu gereklilikleri tasarımlarına eksik aktarması, Yeşil bina sertifika gerekliliklerinin bir kısmının tasarım evresinde değil, inşaat evresinde gündeme gelmesi, yeşil bina sertifika gereklilikleri ile tasarımlar arasında uyumsuzlukların oluşması.
Etkileri:	Tasarımlarda revizyonlara sebep olması ve ek iş olmasından ötürü bütçe artışına sebep olmuştur. Tasarımlarda revizyonlara sebep olması ve ek iş olmasından ötürü iş süresinin uzamasına sebep olmuştur.

Vaka 4

Talep:	Yüklenici, proje kapsamında bulunan sekiyonel kapıları A marka olarak Proje Yönetim Firması onaya sunmuştur. Proje Yönetim Firması, sözleşme eki marka listesi, birim fiyat tarifleri, proje ve teknik şartnameleri kontrol ederek gerekli inceleme ve değerlendirmelerini yapmış ve olumlu görüşünü İş Sahibi onayına sunmuştur. İş Sahibi kendisine iletilen malzeme onay formunu incelediğinde sekiyonel kapı markası tercihini A marka değil B marka olduğunu, sunulan malzeme markasının buna göre revize edilip tekrar onaya sunulmasını talep etmiştir. Proje Yönetim Firması, İş Sahibinden gelen talebin haklılığını kontrol etmek için sözleşme eki marka listesine tekrar bakmış B markanın da marka listesinde yer aldığını, İş Sahibinin talep hakkının olduğunu doğrulamış ve İş Sahibinin B marka tercihini Yükleniciye iletmıştır. Yüklenici, kendisine iletilen bildirim üzerine A ve B sekiyonel kapı markaları arasında fiyat farkı olduğunu ileri sürerek iş emri değişikliği talebinde bulunmuştur
Talebin değerlendirilmesi:	Yüklenici, ihale aşamasında verdiği teklifi A marka kapı fiyatlarını baz alarak verdiğini, bu sebeple İş Sahibinin B marka sekiyonel kapı tercih etmesi durumunda ilave fiyat farkının oluşacağını Proje Yönetim Firmasına yazılı olarak iletmıştır ve bu talebinde ısrarcı davranmıştır. Proje Yönetim Firması yaptığı değerlendirme sonucunda İş Sahibinin, sözleşme eki marka listesinde bulunan markalar arasında seçim tercihini olduğunu, ihale sürecinde bu durumun da düşünülerek teklif verilmesi gerektiğini ve ihale dönemi verdiği teklifinde sekiyonel kapı fiyatının B marka için verildiğine dair bir ibare olmadığını Yükleniciye ileterek talebini reddetmiştir. Yüklenici her ne kadar inşai sürecin sonuna kadar talebini sürekli yenilese de talep kabul görmemiştir.
Talebi sebepler:	oluşturan Yüklenicinin, ihale sürecinde işi alabilmek, rakiplerine göre fark yaratmak ve tekliflerini olabildiğince aşağıya çekmek için teklifini, fiyatını daha ucuz gördüğü markalar üzerinden vermesi, Yüklenicinin ihale sürecinde kendisine iletilen marka listesinde hangi marka kapı için teklif verdiğini belirtmemesi.
Etkileri:	Yüklenicinin fiyat farkı verilmemesi durumunda B marka sekiyonel kapı sipariş etmek istememesinden ötürü malzeme tedarikinde gecikmeler yaşanmıştır. İlave fiyat talebinin İş Sahibi tarafından kabul edilmemesi taraflar arasındaki ilişkide gerginliklerin oluşmasına sebep olmuştur.

Pozitif yanı, Proje Yönetim Firmasına iletilecek, onaya sunulacak çalışmaların bilgi, belge ve dokümantasyonlarına son derece hâkim olması ve iletilen çalışmaların şeklen doğru olmasından ötürü Proje Yönetim Firmasının Yükleniciyi eğitmek ve gelen çalışmaları formata uygun tekrar düzenlemek zorunda kalmamasıdır. Negatif yanı ise, Yüklenicinin uygulama sırasında kendi açısından uygun gördüğü teknik düzeltme ve değişiklikleri zaman zaman onaya sunmadan uygulamaya çalışmasıdır. İşveren ile sık sık direkt iletişim halinde olmuş, Proje Yönetim Firmasının olmadığı ortamlarda görüşmeleri gerçekleştirmiştir.

Tasarım gruplarının tasarım sürecinde bir sürü revizyon ve çalışma yapmaları, gereğinden fazla yorulmaları ve çalıştığı süreyi karşılayacak revizyon bedellerini işverenden alamamaları projeye inşaat aşamasında destek vermemelerinde etkili olmuştur. Projede sürekli karar değişikliklerinin olması, gelgitlerin yaşanması ve işveren ihtiyaç planının netleşmemesinden ötürü tasarımlarda disiplinler arası uyumsuzluklar ortaya çıkmıştır.

Proje bütçesine etkisi

İş emri değişikliği talepleri projedeki en büyük etkisini proje bütçesi üzerinde göstermiştir. Örnek projede çokça yaşanan iş

değişikliği taleplerinin proje bütçesi üzerinde yarattığı etkinin nicel analizi aşağıdaki şekildedir:

Sözleşme bedeli 49.500.000 TL 'dir. Yüklenicinin projenin inşai süresi boyunca Proje Yönetim Firmasına ilettiği tüm iş emri değişikliği taleplerinin toplam bedeli 14.000.000 TL 'dir.

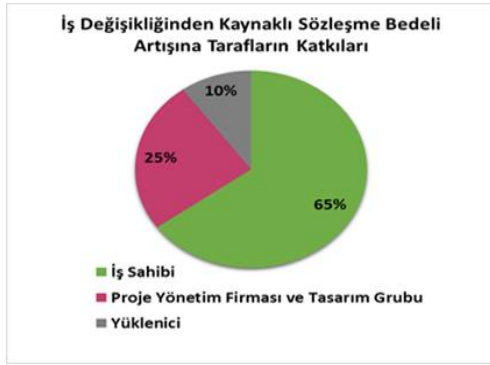
Yüklenicinin projenin inşai süresi boyunca proje yönetim firmasına ilettiği iş emri değişikliği taleplerinden, işin sonunda onaylanan ve tüm taraflarca anlaşmaya varılan toplam bedeli 8.000.000 TL 'dir. İş değişikliklerden kaynaklı proje bütçesi artışı, sözleşme bedelinin yaklaşık %15'i olduğu görülmüştür. Örnek projenin gizlilik anlaşması olmasından ötürü çok detaylı bilgi verilemese de yapılan analiz sonucunda örnek projede yaşanan iş değişikliklerinin %65 'inin işveren, %25'inin proje yönetim firması ve tasarım grubu, %10'unun da yüklenici kaynaklı tespit edilmiştir (Şekil 3).

Elde edilen sonuçlara göre Yüklenicinin diğerlerine oranla daha az iş değişikliğine sebep olduğu görünse de proje boyunca ilettiği haksız talepler, proje katılımcıları arasında gerginliklerin oluşmasına, krizlerin yaşanmasına, projenin motivasyonun düşmesine dolaylı görünmeyen kayıpların oluşmasına sebep olmuştur.

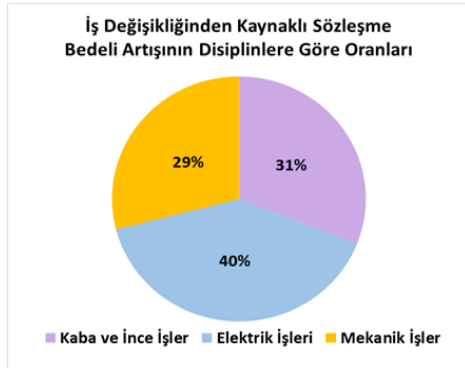
Tablo 2. Örnek projede yaşanan iş değişikliklerinin proje bütçesi üzerindeki etkisi

İşin Adı	Proje Başlangıcında Sözleşme Fiyatı	İş Emri Değişikliğinden Doğan Ek Maaliyet	Proje Sonu Proje Maliyeti	İş Emri Değişikliği İçerisindeki Oranı	Her İşin Kendi Sözleşme Bedeli İçerisindeki Artış Oranı
İnşai-Mimari İşler	31.931.153,85 TL	2.325.000,00 TL	34.256.153,85 TL	31%	7%
Elektrik İşleri	10.448.692,31 TL	3.000.000,00 TL	13.448.692,31 TL	40%	29%
Mekanik İşleri	7.120.153,85 TL	2.175.000,00 TL	9.295.153,85 TL	29%	31%
Toplam Tutar	49.500.000,00 TL	7.500.000,00 TL	57.000.000,00 TL		

İş emri değişikliklerinden kaynaklı bütçe artışının %31'ini mimari ve inşaat, %40'sini elektrik, %29'unu da mekanik işler oluşturmaktadır (Şekil 4, 5). İş emri değişikliklerinden kaynaklı elektrik işleri sözleşme bedelinde %29, mekanik işleri sözleşme bedelinde %31 inşaat-mimari işler sözleşme bedelinde %7 artış olmuştur (Tablo 2).



Şekil 3. Örnek projede yaşanan iş değişikliği emirlerine tarafların katkıları.

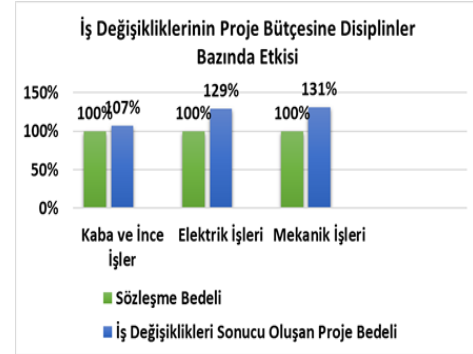


Şekil 4. İş değişikliği emirlerinden kaynaklı bütçe artışına tarafların katkısı

Proje süresine etkisi

İş emri değişikliklerinin ikinci en büyük etkisi proje süresi üzerinde olmuştur. Örnek projede çokça yaşanan iş değişikliği taleplerinin proje süresinde yarattığı etkinin nicel analizi şu şekildedir:

Yüklenicinin sözleşmede taahhüt ettiği iş bitirme süresi süresi 360 gündür. Fakat, yüklenicinin 169 gün ilave süre talebi olmuştur. İlave süre talebinde gerekçe olarak aşağıdaki maddeler sunulmuştur:



Şekil 5. İş değişikliği emirlerinin proje bütçesine disiplinler bazında etkisi

- İş Sahibinin projedeki yoğun revizyon taleplerinin mevcut işleri ve iş programını etkilemesi
- İş Sahibinin sözleşme kapsamında olmayan ilave iş taleplerinin mevcut işleri ve iş programını etkilemesi
- İş Sahibinin yetkililerin sık sık saha denetimine gelmesi ve saha denetimi yapılan günlerde çalışmaların yavaşlaması
- İş Sahibinin malzeme onayları konusunda kararını geç iletmesinden dolayı bazı malzemelerin tedarik sürelerinin uzaması, uygulamada gecikmelere yol açması ve iş programını etkilemesi
- Yüklenicinin yağışlı günlerde imalat yapamamasından ötürü mücbir sebep kapsamında talep ettiği ilave iş süresi

Yüklenicinin ilave süre talebi proje yönetim firması tarafından incelenmiş olup 70 gün süre uzatımı verilmiştir. Uyuşmazlıklarda, gecikmeler ve süre uzatımı talepleri önem taşımaktadır. Özellikle gecikmelerin sınıflandırılması, süre uzatımı açısından hangi yöntemin uygulanacağını da belirleyebilecektir. Gecikmeler, kabul edilebilir (tazmin edilebilir ve edilemez), kabul edilemez ve eş zamanlı olarak üç temel başlıkta incelenir. Gecikmelerin analiz edilebilmesi, kabul edilebilir ve edilemez gecikmelerin ayıklanması, eş zamanlı gecikmelerde tarafların sorumluluk oranlarının belirlenmesi kritik yolun gösterildiği şebeke tabanlı ve detaylı bir iş programı ile mümkündür. Gecikme analizi için planlanan-gerçekleşen, etkilenen-planlanan, bozulan-gerçekleşen, net etki, bütüncül etki, zaman etki analizi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [13,14]. Bu çalışmada zaman etki analizi yöntemi kullanılmış, işveren ve yüklenici kaynaklı gecikmeler arasındaki net fark bulunarak kusur işveren ile yüklenici

arasında paylaştırılmıştır. Proje yönetim firması süre uzatımı konusundaki değerlendirmesini yaparken, ilave işlerin ve proje revizyonlarının genel hatları ile iş programının kritik hatları üzerinde veya paralel faaliyet olup olmama durumuna; malzeme onaylarının onaya geliş tarihi ve onaylanan tarihlerine; yağışların sözleşme şartları gereği mücbir sebep kapsamına girecek şiddette olup olmama durumuna ve saha denetimi yapılan günlerin tarihlerine bakarak kararını sonuçlandırmıştır. İş değişikliklerinin makaleye konu proje süresi üzerindeki etkisi Tablo 3'ta gösterilmiştir.

İş gücü verimliliğine etkisi

İnşaat sürecinde yaşanan iş değişikliklerinin kendisi, etkisi ve yönetimi sırasında yaşanan sıkıntılar, Yüklenici çalışanlarının iş gücü verimliliğini etkilemiştir. Sürecin iş gücü verimliliği ile olan ilişkisi şu şekilde özetlenebilir:

- Ek işlerin ödemelerinin ve onay süreçlerinin çok uzaması, yaptığı işin bedelini alamayan Yüklenicinin çalışma motivasyonunu düşürmüş, daha isteksiz çalışmasına sebep olmuş ve sonuç olarak iş gücü verimliliğinde azalma olmuştur.

Tablo 3. Örnek projede yaşanan iş değişikliklerinin proje süresi üzerindeki etkisi.

Süre Uzarım Talebinin Gerekçesi	Talep Edilen Ek Süre	Proje Yönetim Firması Değerlendirmesi	Değerlendirme Sonrası Verilen Ek Süre
İş Sahibi Yetkilileri tarafından yapılan saha denetimlerinden dolayı çalışılmayan günler	8 gün	İş Sahibi Yetkililerinin yılın belli günlerinde bu tarz saha denetimleri yapacağı ve bu günlerde çalışma yapılamayacağı sözleşme öncesinde Yükleniciye bildirilmiş olup, taahhüt ettiği sözleşme süresinin içerisinde olduğu kabul edilmiştir.	0 gün
Meteorolojik durum raporuna göre bölgede ortalama 4 yıllık yağış miktarından daha fazla yağış olması nedeniyle sahada çalışma yapılamayan günler	11 gün	Sözleşmede mücbir sebepler başlığı altında belirtilen "bölgedeki ortalama son 10 yıllık yağış miktarından daha fazla yağış olması" ibaresi mücbir sebep olma koşulunu sağladığından ötürü "son 4 yıllık ortalama yağış" mücbir sebep olarak değerlendirilemez.	0 gün
Mekanik ve elektrik tesisatı işlerinde inşaat sürecinde meydana gelen revizyonlardan ötürü yaşanan süre kayıpları	100 gün	İlave işlerin ve proje revizyonlarının genel hatları ile iş programının kritik hatları üzerinde veya diğer işler ile paralel faaliyet olup olmama durumuna göre değerlendirilmiştir. Mekanik ve elektrik işlerin aynı periyotta devam edebileceği birbiri üzerinde engel yaratmayacağı görülmektedir.	65 gün
İnşai ve mimari işlerde inşaat sürecinde meydana gelen revizyonlardan ötürü yaşanan süre kayıpları	20 gün	İlave işlerin ve proje revizyonlarının genel hatları ile iş programının kritik hatları üzerinde veya paralel faaliyet olup olmama durumuna değerlendirilmiştir. Mekanik ve elektrik işlerin süresinin çok uzamasından ve farklı mahallerde gerçekleşecek çalışmalar olmasından ötürü paralel faaliyet içerisinde kalmaktadır	0 gün
Malzeme onaylarına geç dönülmesinden kaynaklı tedarik süresinde yaşanan ötelenmeler	30 gün	Malzemelerin onaya sunulma tarihleri ve onaylanan tarihleri tespit edilerek gecikme yapılan malzemeler için yeni tedarik sürelerine bakılmıştır. Mekanik ve elektrik imalatlarının da süresinin uzamasından ötürü, verilmesi düşünülen ek sürenin bir kısmı paralel faaliyet içerisinde kalmıştır.	5 gün
TOPLAM SÜRE	169 gün		70 gün

- İş sahibinin bazı taleplerini geç iletmesi, yapılan birtakım işlerin bozulmasına, kırılmasına ve yeniden yapılmasına neden olmuş, tekrar tekrar aynı işi yapan çalışanların çalışma motivasyonunu düşürmüş ve sonuç olarak iş gücü verimliliğinde azalma olmuştur.

- Sıklıkla yapılan ilave iş ve değişikliklerden kaynaklı olarak iş programının planlananın çok üstünde ötelenmesi, Yüklenicinin işin istenilen şekilde tamamlanmasına yönelik inancını bitirmiş ve sonuç olarak iş gücü verimliliğinde azalma olmuştur.

- Normal süreç boyunca yüklenici, yapılan imalatın sahada uygulanabilirliğine ve değer mühendisliği yapılmasına yönelik birçok öneride bulunmuştur. Ancak iş değişikliklerinin çok sık ve yoğun iletmeye başlaması yükleniciyi bunaltırmış ve

yeni yapılan işler için uygulamaya yönelik önerileri kesilmiştir. Yüklenicinin çalışma motivasyonunu düşürmüş, daha isteksiz çalışmasına sebep olmuş ve sonuç olarak iş gücü verimliliğinde azalma olmuştur.

Proje paydaşları arasındaki ikili ilişkilere etkisi

İş değişikliklerinin en önemli etkilerinden biri de proje paydaşları arasındaki ikili ilişkilerde gerginliklere ve bu gerginliklerin zaman zaman krizlere dönüşmesine sebep olmasıdır. Örnek projede yaşanan iş emri değişikliği taleplerinin oluşum sebeplerine bağlı olarak, ikili ilişkiler üzerindeki etkileri vaka analizlerinde örnekler bazında gösterilmiş olup sürecin ikili ilişkiler ile olan bağlantısı şu şekilde özetlenebilir:

- İş sahibi vekillerinin sorumluluk almak istememesinden ötürü yüklenicinin imalata başlayabilmesi için ön onay alması gereken iş emri değişikliği çalışmalarına dönüş alamaması ve bekletilmesi,
- İş sahibinin bazı taleplerini geç iletmesi, yapılan birtakım işlerin bozulmasına, kırılmasına ve yeniden yapılmasına neden olmuş, yüklenicinin tekrar tekrar aynı işi yapması
- İş sahibinin yükleniciden sözlü olarak talep ettiği iş değişikliklerini, yazılı belge olmamasından ötürü reddetmesi,
- Yüklenicinin iş değişikliklerinden kaynaklı kayıplarını başka yollardan telafi etmeye çalışması yüklenici ve iş sahibi arasında büyük krizlerin yaşanmasına sebep olmuştur.

Sözleşme hazırlanırken, Türkiye’de yapılan en büyük hatalardan birisi, bu makale yazarlarının gerek eğitim yaşamlarında gerekse de inşaat söktüründe gözlemledikleri üzere, sözleşmenin bir bütün olarak ele alınmaması, sözleşmenin farklı belgelerden oluşan bir bütün olduğunun anlaşılabilmesidir. Bu bakımdan sözleşme ve eklerinin bir bütün olduğu, aslında şartnamelerin, proje tasarım çizimlerinin, kimi durumlarda sözleşme eki olarak belirtilen bazı standartların bizzat sözleşmenin kendisi gibi değerlendirilmesi gerektiğinin ne kadar önemli olduğu ve uyumsuzluklara yol açabileceği bu çalışmada da görülmüştür. Sözleşme hazırlanırken, sözleşme ana metni ve eklerin bir hiyerarşi içinde sözleşmenin sonunda zikredilmesi, bu hiyerarşiye göre uyumsuzlukların belirlenmesi tüm taraflar açısından gereklidir. Konuyla ilgili bir örnek verilmesi açıklayıcı olacaktır. İncelenen projede bir vakada, yüklenici, sözleşme eki elektrik ve mekanik projelerin esas alındığı hesap raporlarının yanlış olduğunu, e-hesapların yeniden yapılarak elektrik projelerinin hazırlanması gerektiğini, bu revizyonlardan dolayı oluşan ilave bedelin de kendilerine ödenmesi gerektiğini beyan etmiştir. Talebini, sözleşme eki zeyilname olan “Sözleşme Dışı İşler” dokümanında yer alan maddeye atıfta bulunarak iletmiştir. Sözleşmede konuyla ilgili madde, Borçlar Kanunu genel hükümleriyle uyumlu olarak aşağıda yazıldığı gibidir:

“Yüklenici kendisine teslim edilen İş Yeri’nin nitelik itibarıyla inşaat elverişli olup olmadığını, zemin yapısını, Uygulama Projeleri ile uyumunu araştırmak durumundadır. Plan ve Uygulama Projeleri İş Sahibi tarafından verilmiş olsa bile, sorumlu bir meslek adamı ve basiretli tacir olarak İş’i yapmayı üstlenen Yüklenici, bu kabulüyle kendisine verilen Uygulama Projeleri başta olmak üzere tüm Sözleşme Ekleri ve teknik belgelerin İş Yeri’nin gereklerine, teknik ve sanat kurallarına uygun olduğunu kabul etmiş ve sorumluluğu üstlenmiş sayılır.”

Fakat sözleşme eki zeyilname içerisinde yer alan “Sözleşme Dışı İşler” başlığı altında da aşağıdaki ifade yer almaktadır:

“Teknik hesap raporlarının hatasından kaynaklı her türlü değişiklik kapsam dışındadır”

İş Sahibi, Anahtar Teslimi İnşaat İşleri Sözleşme yapıldığını ileri sürerek gelen talebi reddetmiştir ve Proje Yönetim Firmasından değerlendirme istemiştir. Talebin değerlendirilmesi sürecinde İş Sahibi konuyu kriz haline getirirse de Yüklenicinin ilave bedel talebi sözleşme ekinde yazılan madde gereği kabul edilmiş olup, sözleşme ve ekleri

arasındaki hiyerarşinin belirtilmemesinin iş sahibi açısından yarattığı sorun açısından son derece çarpıcı bir örnektir.

Hak Talebi Dokümanlarının Kontrol Edilmesi

Proje sürecinde meydana gelen değişikliklerin sahada uygulanmaya başlanmadan önce değişikliğin incelenmesini ve değerlendirilmesini gerektiren prosedür süreçlerinin tamamlanması gerekir [12]. Normalde, yüklenici öncelikli olarak iş sahibi ve proje yönetim firması tarafından kendisine iletilen, sözleşme eki projeler ve dokümanlar ile uygulama projeleri ve talepler arasında oluşan değişiklikleri tespit etmelidir. Revizyonlar ve ilave işler ile ilgili değişikliğe ait fiyat farkını ve talep gerekçesini gösteren iş değişikliği emri talep formunu uygulama ve imalatı yapmadan önce proje yönetim firması onayına sunulmalıdır. Ancak, örnek projede zaman zaman iş sahibi ve yüklenicinin direkt birbirleri ile iletişime geçmesinden ve iş sahibinin bu görüşmelerde yükleniciden yazılı olmayan değişiklik taleplerinde bulunmasından ötürü, yüklenici sürecin başında iş değişikliği emri taleplerini proje yönetim firması onayına iletmeden sahada birtakım imalatları yapmıştır. Proje yönetim firmasının durumu fark etmesi üzerine yükleniciyi uyarması sonrasında yüklenici iş değişikliği emri talep çalışmalarını proje yönetim firmasının onayına sunmaya başlamıştır. Bu durum hak talebi oluşumuna verilebilecek sadece bir örnektir ve örnek sayısı daha da arttırılabilir. İşlerin yoğunluğu ve zaman baskısı nedeniyle gözden kaçması çok muhtemel olan iş değişikliği emri onaylarının ve dolayısı ile oluşacak hak taleplerinin sistematik yönetilebilmesi için kontrol adımları ve tabloları oluşturulmuştur. Örnek olması açısından kontrol tabloları içi doldurularak aşağıda kontrol adımlarını takiben sunulmuştur.

Yüklenici tarafından onaya sunulan iş değişikliği formunun proje yönetim firması tarafından kontrolünün prosedür süreci şu şekildedir:

1. Taleplerin istenilen formatta gelmesi,
2. Gelen taleplerin sözleşme dokümanlarına göre kontrol edilmesi (Şekil 6),
3. Sözleşme kapsamında olmayan taleplerin değerlendirmeye alınması, kapsamda olanların ise reddedilmesi (Şekil 7),
4. Taleplerdeki birim fiyatların kontrolü (Şekil 8),
 - i. Sözleşme eki birim fiyatlarla kontrolü,
 - ii. Yeni birim fiyatların analizlerinin kontrolü,
 - a. Enterpolasyon,
 - b. Proforma fatura kontrolü,
 - c. Piyasa teklifleri ile kontrolü,

X PROJESİ İŞ EMRİ DEĞİŞİKLİĞİ FORMU		X PROJECT CHANGE ORDER REQUEST FORM	
Tarih / Date		Form Numarası/ Form Number	
Yeri / Location	Enerji Merkezi	Talep Eden / Requested By	
İş Emri Değişikliği Sebepleri	Change Order Request Reason		
Ek Bilgiler			
Additional Information			
Bütçe Değişiklik Bilgisi			
Change Order Cost Information			
Yüklenici	Proje Yönetim	İş Sahibi	

Şekil 6: İş değişikliği emri kapak sayfası.

İŞ EMRİ DEĞİŞİKLİĞİ FORMU		CHANGE ORDER REQUEST FORM	
Tarih / Date		Form Numarası/ Form Number	HA-13
Yeri / Location	Enerji Merkezi	Talep Eden / Requested By	İş Sahibi, Tasarımcı
İş Emri Değişikliği Sebepleri	Change Order Request Reason		
Enerji merkezi yapısının sözleşme eki projelerden farklı olarak inşaat aşamasında gelen revize projelerde; CC24 kolon çapının değiştiği, Su basman perdelerinde minhaların olduğu Izgara beton kalınlıklarında artışların olduğu Izgara demir detaylarının eklendiği Ve tüm bina genelinde demir projelerinde revizyon olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden kaynaklanan iş emri değişikliği çalışmasıdır.			
CHG-AC-Temp-00-01_KOT_(-2.05)_R1 CHG-AC-KalP-01-01_KOT_(+4.43)_R2			
Ek Bilgiler			
Additional Information			
Bütçe Değişiklik Bilgisi			
Change Order Cost Information			
Yüklenici	Proje Yönetim	İş Sahibi	

Şekil 7: Taleplerin sözleşme dokümanlarına göre kontrol edilmesi.

1-4/K'-M ARASI YÖNETİM BİNASI KABA YAPI İŞLERİNİN YAPILMASI			
Performed Work	Poz No.	Un. Price	Un.
Yapılan İş	Poz Nu.	Br. Fiyat	Br.
1-4/K'-M ARASI YÖNETİM BİNASI KABA YAPI İŞLERİNİN YAPILMASI			
Drenaj İşleri, 150mm*2ad		80,00 TL	m
Makine İle Her Derinlikte Yumuşak ve Sert Toprağın 2 Kazılması, Nakliyesi		18,00 TL	m ³
Dolgu ve Sıkıştırma İşleri		40,00 TL	m ³
C16 Beton (Grobeton), Dolgu İşleri	3004	20,85 TL	m ²
C16 Beton (Grobeton), Temel Altı Çalışma	3004	20,85 TL	m ²
C35 Yapısal Beton	3006	235,00 TL	m ³
Her Türlü Beton ve Betonarme Kalıbı	3002	50,00 TL	m ²
Nervürlü Donatı Çeliği	3008	3.500,00 TL	ton
Temel Altı yalıtım İşleri (Membran)	İNŞ. YBF.01	42,30 TL	m ²
Perde yalıtım İşleri (Sürme+Xps+levha)	İNŞ. YBF.02	81,30 TL	m ²
Su Tutucu Şişen Bant	İNŞ. YBF.03	43,78 TL	mtül
Baskı Profili	İNŞ. YBF.04	8,25 TL	mtül
Koruma Betonu (5 CM)		208,50 TL	m ³
Topraklama İşleri			

Şekil 8: Taleplerdeki birim fiyatların kontrolü.

5. İş kalemi miktarlarının kontrolü (Şekil 10),

i. Azalan, eksilen miktarların kontrolü,

ii. Artan, yeni eklenen miktarların kontrolü

YENİ BİRİM FİYAT ANALİZİ				
İmalatın Cinsi	Temel Altı Su Yalıtımı (2 kat 3mm Membran)			
Ölçü Birimi	m2			
Birim Fiyat No	YBF-İNS-01			
AÇIKLAMA				
	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
Çift kat elastomerik esash 3 mm polyester keçe taşıyıcı membran	m2	2,20	12,10 ₺	26,62 ₺
Geotekstil keçe (250 gr/m2)	m2	1,05	1,48 ₺	1,55 ₺
Membran Uygulama İşçiliği	m2	2,3	3,69 ₺	8,48 ₺
Keçe Uygulama İşçiliği	m2	1,05	0,12 ₺	0,13 ₺
ARA TOPLAM				36,79 ₺
KAR	%	15%	36,79 ₺	5,52 ₺
GENEL TOPLAM				42,30 ₺
Birim Fiyat Tarifi				
Teknik şartnamelerde ve malzeme referans listesinde belirtilen imalatın yapılması için her türlü makine, alet edevat, işçilik, yatac düşey taşımacılık, çevre koruma tedbirlerine uyulması, sözleşme eki iş güvenliği şartnamelerinde belirtilen iş güvenliği önlemlerinin alınması ile belirtilen giderlerle sınırlı kalmamak kaydıyla yapılacak her türlü harcama ile yüklenici karı ve genel giderleri dahil 1 m2 yapılması fiyatı ; KIRKİKİ TÜRK LİRASI OTUZ KURUŞ dir.				
Ölçü	Proje üzerinden hesaplanarak ödeme yapılır.			
Malzeme Markası				
YÜKLENİCİ	PROJE YÖNETİM FİRMASI	İŞ SAHİBİ		

Şekil 9: Yeni birim fiyatların analizlerinin kontrolü

İMALATIN ADI : ALTYAPI/ KAZI İŞLERİ								
AÇIKLAMA	BİRİM	BENZER	ADET	EN	BOY	YÜKSEKLİK	ALAN	TOPLAM MİKTAR
REVİZE PROJE								
ATIKSU BACA KAZISI								
R1A	m3						1,75	3,14
R2A	m3						2,15	3,14
CHG1A	m3						2,35	3,14
CHG2A	m3						2,85	3,14
R3A	m3						2,15	3,14
SÖZLEŞME EKİ								
ATIKSU BACA KAZISI								
CHG1A	m3						3,15	3,14
CHG2A	m3						3,55	3,14
CHG3A	m3						3,80	3,14
CHG4A	m3						4,05	3,14
CHG5A	m3						4,30	3,14

Şekil 10: Azalan ve artan iş miktarlarının kontrolü.

6. Tutarların hesaplanması, kontrolü (Şekil 11),

i. Fark tutarların kontrolü

L-M / 4-5 AKSLARI ARASI MAHAL REVİZYONU					
Performed Work	Poz No.	Un. Price	Un.	AMOUNT, Difference	COST, Increase/Decrease
Yapılan İş	Poz Nu.	Br. Fiyat	Br.	MİKTAR, Fark	TUTAR, Artış/Azalış
L-M / 4-5 AKSLARI ARASI MAHAL REVİZYONU					
Makine İle Her Derinlikte Yumuşak ve Sert Toprağın 2 Kazılması, Nakliyesi	2004	18,00 TL	m ³	257,026	4.626,47 TL
Dolgu ve Sıkıştırma İşleri		40,00 TL	m ³	861,006	34.440,24 TL
C16 Beton (Grobeton) Temel Altı	3004	20,85 TL	m ²	99,715	2.079,06 TL
C35 Yapısal Beton	3006	235,00 TL	m ³	132,207	31.068,65 TL
Her Türlü Beton ve Betonarme Kalıbı	3002	50,00 TL	m ²	863,647	43.182,35 TL
Nervürlü Donatı Çeliği	3008	3.500,00 TL	ton	24,131	84.458,50 TL
Temel Altı yalıtım İşleri		16,00 TL	m ²	257,183	4.114,93 TL
Yapsal Çelik İşleri		7.250,00 TL	ton	1,267	9.185,75 TL
Kompozit Döşeme	HE_YBF_32	117,89 TL	m ²	-303,620	-35.794,44 TL
Yüzey Sertleştirici Şap - 10 cm (Üst Döşeme)		38,40 TL	m ²	596,520	22.906,37 TL
Çatı 4 cm Taşyünü Panel Kaplama		120,00 TL	m ²	319,48	38.337,60 TL
TOPLAM / TOTAL					238.605,46 TL

Şekil 11: Fark tutarın hesaplanması.

Sonuç ve Öneriler

Son yıllarda dünyada yatırımcıların kendilerini güvende hissedecek ortamda inşaat yatırımı yapmak istemeleri ve

projelerin sözleşmelerce belirlenen süre, kalite ve maliyette gerçekleştirilmesi talepleri çok paydaşlı ve kompleks yapıdaki inşaat projelerinin çok daha iyi yönetilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu sebeple proje yönetim firmaları artık inşaat projelerinde sıklıkla karşımıza çıkan bir paydaş konumuna gelmiştir. Ancak, proje yönetim firmalarının yönetim performanslarını birinci dereceden etkileyen önemli iki unsur bulunmaktadır: iş değişikliği emirleri ve hak talepleri. Projelerde ortaya çıkan iş değişikliği emirlerinin projenin kalitesi, süresi, verimlilik, taraflar arası ilişkiler gibi konularda büyük etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak hak taleplerinin kontrolü ve yönetimi konusunda da bir sistemden bahsetmek zordur. Proje sürecinde oluşan konulara yönelik kararların hızlı ve efektif alınması, projenin başarısında kilit rol oynar [15,16]. Bu çalışmada inşaat projeleri boyunca oluşan iş değişikliği emirleri ve bunların bir sonucu olarak doğan hak taleplerinin hızlı ve doğru yönetilebilmesi için öncelikle iş değişikliği emirlerinin yönetim sürecindeki aksamalar sunulmuş ve sistematik bir iş değişikliği ve hak talebi kontrolü sağlanması amacıyla kontrol adımları ve formları oluşturulmuştur. Kontrol adımlarının ve tablolarının oluşturulabilmesi için ise örnek bir proje üzerinden vaka analizleri yapılarak proje yönetim organizasyonu, yaşanan iş değişiklikleri ve hak talebi sebepleri, etkileri ve aksayan yönleri detaylı olarak irdelemiştir.

Bu çalışmadaki en önemli sonuçlardan birisi de uyumsuzlukların büyük ölçüde mal sahibi ile yüklenici arasında imzalanan sözleşmeden kaynaklanmasıdır. Bu husus, sözleşme hazırlanma sürecinin ne kadar önemli olduğunun, inşaat proje yönetiminde temel başlıklardan birisi olan sözleşme idaresinin tasarım öncesi ve tasarım evresindeki iş başlıklarının ne kadar önemle ele alınması gerektiğini göstermektedir.

İnşaat projelerinde yüklenici üzerindeki süre, maliyet ve kalite baskısının yanında sektörün rekabetçiliği de göz önüne alındığında bu çok paydaşlı ve dış etmenlere oldukça açık sektörde, iş değişikliği taleplerinin çok olması ve dolayısı ile bolca hak talebi doğması normaldir. Bu iş değişikliği emirlerinin ve hak taleplerinin hızlı, doğru ve sistematik yönetilebilmesi için izlenmesi gereken adımların bilinmesi, bu adımların her bir iş değişikliğinde ve hak talebinde atlanmadan takip edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamında sunmuş olduğumuz iş değişikliği ve hak talebi kontrol adımlarının ve tablolarının kullanılması günümüzde hemen her projede karşılaşılan sorunların baş göstermesini engelleyecek ya da doğru yönetilebilmesi adına sektördeki profesyonellere yardımcı olacaktır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] İNTES, Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası, İnşaat Sektörü Raporu, 2020.
- [2] Staiti M, Othman M, Jaaron AA. Impact of change orders in construction sector in the West Bank. In International conference on industrial engineering and operations management 2016, pp. 1690-1698.
- [3] Hao, Qi, Weiming Shen, Joseph Neelamkavil, and Russ Thomas. "Change management in construction projects." In Proceedings of International conference on information technology in construction. 2008.
- [4] Bakr, G.A. Studying the Status of Variations in Construction Contracts in Jordan. In Computing in Civil and Building Engineering 2014, pp. 187-194.
- [5] CMAA, Construction Management Association of America, Standard CM Services and Practice. 2nd Edn., 1993, Reston, VA.
- [6] Lavigne, Joseph C. Construction Contract claims and methods of avoiding contract litigation through dispute resolution alternatives. Florida Univ Gainesville, 1993.
- [7] Levin, Paul. "Construction contract claims, changes & dispute resolution." American Society of Civil Engineers, 1998.
- [8] Nahod M.M., Radujkovic M. Procedures For Change Management In The Realization Phase Of Construction Projecst. Association of Researchers in Construction Management Conference, 2011, pp. 859-868.No. 10.
- [9] PRM, (2005). The Project Resource Manual, The Construction Specifications Institute, Mc Graw-Hill Companies Inc, New York.
- [10] Migliaccio, Giovanni C., Len Holm. Introduction to construction project engineering, 2018. Routledge.
- [11] VT, Virginia Tech 2020, https://it.vt.edu/projects/project_management/integrated_changecontrol.html
- [12] O'Brien, J.J., Construction Change Orders. 1998. McGraw Hill, New York.
- [13] Trauner, T. J. Construction delays: Understanding them clearly, analyzing them correctly. 2009. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- [14] Bordoli, D. W., Baldwin, A. N. A methodology for assessing construction project delays. Construction Management & Economics, 1998, 16(3), 327-337.
- [15] Sanvido, V., K. Parfitt, M. Guvensia and M. Coyle, Critical success factors for construction projects. J. Constr. Eng. M. ASCE, 1992, 118(1): 94-111.
- [16] Gray, C., Hughes W., Building Design Management. 2001. Butterworth Heinemann, Oxford, UK.



Makale Türü (Araştırma Makalesi)

TBDY-2018'deki Yerel Zemin Koşullarının Deprem Kesit Tesirlerine Etkisi

Effect of Local Ground Conditions on Earthquake Section Effects in TBDY-2018

Mehmet Hayrullah AKYILDIZ^{1*}, Ali Emre ULU², Kübra ADAR³

^{1*} Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-7239-3518

² Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis, Türkiye, alimreulu@gmail.com.tr ORCID ID:0000-0001-7499-3891

³Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kubra_adar05@hotmail.com.tr ORCID ID:0000-0001-6595-2879

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 22 Haziran 2021
Revizyon 24 Eylül 2021
Kabul 27 Eylül 2021
Online 28 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

*Zemin koşulları, Zemin sınıfı,
Deprem, Kesit tesirleri, Deprem
yönetmeliği.*

ÖZ

Yerel zemin koşullarının, yapıların sismik davranışlarını etkilediği bilinen bir gerçektir. Son olarak 2018 yılında güncellenmiş olan depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri ile yerel zemin sınıfları da değişmiştir. Bu değişimlerin başında, zeminin zayıf olduğu durumlara ve yüksek katlı yapılara özel yeni hesap yaklaşımları getirmesidir. Dahası bu özel hesapların uzman kişilerce kontrolü zorunlu tutulmuştur. Güncel deprem yönetmeliğinde yer alan yerel zemin koşulları dikkate alınarak örnek olarak seçilen betonarme bir yapıda yer alan bir düzlem çerçeve için deprem etkileri altında kesit tesirleri elde edilmiştir. Bitlis iline ait herhangi bir coğrafi noktada, beş farklı yerel zemin sınıfı için (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE) öncelikle deprem parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Her bir zemin sınıfı için kısa harita spektral ivme katsayıları, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, spektral ivme katsayıları yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyotları elde edilmiştir. Her bir yerel zemin sınıfı için elde edilen değerler kullanılarak iki katlı bir betonarme yapı için hesaplamalar yapılarak deprem kesit tesirleri hesaplanmıştır. Bu çalışma ile yeni yönetmelikteki zemin sınıflarının değişimi dikkate alınarak deprem parametreleri ve kesit tesirleri üzerindeki etkileri hesaplanmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 June 2021
Received in revised form 24 September 2021
Accepted 27 September 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

*Ground conditions, Soil class,
earthquake, Section effects,
Earthquake regulation*

ABSTRACT

It is a known fact that local ground conditions affect the seismic behavior of structures. Finally, with the earthquake resistant building design principles updated in 2018, local soil classes have also changed. At the beginning of these changes is that it brings new calculation approaches specific to situations where the ground is weak and high-rise buildings. Moreover, these special accounts are required to be controlled by experts. Considering the local soil conditions in the current earthquake code, the section effects under earthquake effects were obtained for a plane frame in a reinforced concrete structure selected as an example. At any geographical point in the province of Bitlis, the variation of earthquake parameters was examined for five different local soil classes (ZA, ZB, ZC, ZD and ZE). Short map spectral acceleration coefficients, maximum ground acceleration, maximum ground velocity, spectral acceleration coefficients, horizontal and vertical elastic design acceleration spectrum corner periods were obtained for each soil class. Using the values obtained for each local soil class, calculations were made for a two-storey reinforced concrete structure and the earthquake cross-section effects were calculated. With this study, the effects on earthquake parameters and cross-section effects were calculated by taking into account the change in soil classes in the new regulation.

Doi: 10.24012/dumf.1002217

*Sorumlu Yazar

Giriş

Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum sebebiyle etkin bir deprem bölgesi üzerinde yer almaktadır ve yıl içerisinde de farklı büyüklüklerde yüzlerce deprem meydana gelmektedir. Gerekli dayanım şartları sağlanmadığı takdirde bu depremler yapılara az, orta ya da büyük hasarlar verebilmektedir. Ülkemizin deprem bölgesi oluşu da üzerinde yapı düşünülen bütün nokta ve zeminlerin özelliklerini ve sınıflarını önemli kılmaktadır. Bu kapsamda hazırlanan deprem haritaları ve noktasal deprem spektrumları yapıların inşa edileceği zeminlerin ne tür özellikte ve yapıda olduğu hakkında bilgiler vermektedir.

Bu kapsamda, 2018 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yapıların daha güvenli ve dayanımlı olmalarını sağlamak açısından geliştirilerek güncellenmiştir. 2007'de yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY) tabaka kalınlığı ve kayma dalga hızına göre dört adetle sınırlandırılan zemin sınıflandırılması, yeni yönetmelikte en iyi zeminden en kötü zemine göre sıralanarak altıya çıkarılmıştır (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF). Bu sınıflandırmada ZA sınıfı en iyi zemini temsil etmektedir [1, 2]. ZF sınıfı zemin bu sıralamadaki en kötü zemin sınıfını ifade etmekle birlikte, bu zemin sınıfı için bir takım özel analizlerin yapılması ve yer hareket spektrumlarının kullanılması zorunluluğu getirilmiştir. Özel şartlara bağlı olan bu zemin sınıfına ait hesaplama ve değerlendirmeler bu çalışmada yer almamış diğer beş zemin türüne ait değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Yapılarda depremlere bağlı olarak oluşan farklı büyüklükteki hasarlar, yapıların deprem performanslarını incelemeyi ve değerlendirmeyi gerekli kılmıştır. Yapılarda depremlerden sonra meydana gelen bu hasarlar, sadece yapının değil zeminin de hasarlarda etkin bir rol oynadığı literatürdeki çalışmalardan anlaşılmaktadır [3, 4]. Ayrıca, zeminlerin bulunduğu konum, bulunduğu konumdaki yerel zemin sınıfları, tabii zemin eğimi gibi karakteristik özellikler de yapılarda meydana gelebilecek hasarları artırabilmektedir [5-7]. Deprem yükleri incelendiğinde yapılara hasar ve olumsuz etkiler verebilecek birçok değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerden en önemlilerinden birisi yapının üzerinde bulunduğu yerel zemin koşullarıdır [8-10]. Buna ek olarak, yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, düzensizlik, yapıların bitişik veya ayrık nizamda oluşu, ağır çıkmalar ve yapısal özellikler deprem yüklerinin yapıya olan etkisini artıran parametrelerdir. Bu değişkenler yapının dayanımını

düşürerek deprem sonrası meydana gelebilecek hasarları da artıracaktır [11-15].

Yeni yönetmelikle birlikte daha detaylı incelemeye tabi tutulan yerel zemin şartları ve deprem yer hareketi düzeyleri farklı yapılar üzerinde deprem yükleri, taban kesme kuvveti, eğilme momentleri, görelî kat ötelemeleri gibi parametreleri de etkilemektedir. Özellikle eşdeğer deprem yükleri ele alındığında DBYBHY2007' e göre azalma görülmektedir [16,17].

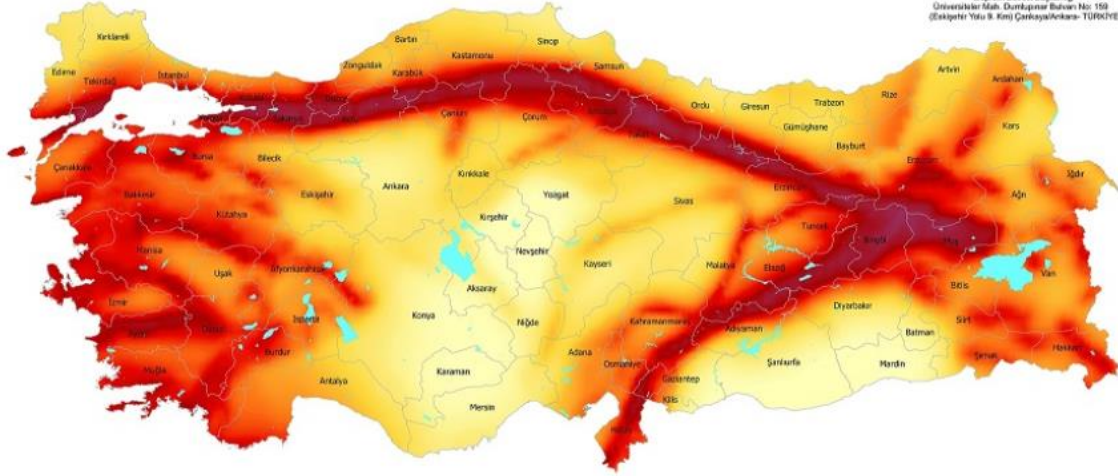
Bu çalışmada, her bir zemin sınıfı için ayrı ayrı olmak üzere, kısa harita spektral ivme katsayıları, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, spektral ivme katsayıları, yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyotları elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, her bir yerel zemin sınıfı için elde edilen değerler kullanılarak beş katlı bir betonarme yapı için hesaplamalar yapılarak deprem kesit tesirleri hesaplanmıştır. Bu çalışma ile zemin sınıflarının hem deprem yönetmeliklerindeki değişimi hem de güncel yönetmelik dikkate alınarak deprem parametreleri ve kesit tesirleri üzerindeki etkileri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Materyal ve Metod

Ülkemizde son çıkan yapı deprem yönetmeliği ile özel tasarım spektrumları geometrik konumlara bağlı olarak değişkenlik göstermeye başlamıştır. Yapılara etki eden deprem yükleri hesaplamalarında bazı parametreler gerekmektedir. Bu parametreler Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak elde edilmektedir. Bu uygulama, 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY ile birlikte kullanılmaktadır [18].

Çalışmada her bir zemin sınıfı için (ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE) hesaplamalar yapılmıştır. Bu beş farklı zemin sınıfı dört farklı deprem yer hareket düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu sayede olası bir deprem durumunda yapının göstereceği eğilimler ve taşıyıcı sistemde meydana gelebilecek hasarlar belirlenmiş ve yapılarda zemin sınıflarından dolayı meydana gelen farklı kesit tesirleri belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirme ile yapının ilk durum ve konumundan, kararsız duruma geçene kadarki sürede yapıdaki taban kesme kuvvetleri sonucu doğan deplasman değerleri elde edilir [19- 21]. Çalışma kapsamında rasgele olarak, Bitlis Merkezli 38,328162; 42,130669 konum noktası seçilerek, Şekil 1'de gösterilen İnteraktif Web Uygulamasından alınan; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi değerleri okunarak hesaplamalar yapılmıştır.

TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE HARİTASI



Bu harita, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında desteklenen UDAP-Ç-13-06 kod no'lu "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" başlıklı projesin sonuçları kullanılarak hazırlanmıştır.

Bu harita, zemin koşulu (Vs)₃₀ = 760 m/s esas alınarak hazırlanmıştır. Yerel zemin koşullarının neden olabileceği sivilşma, büyüme, farklı oturma gibi tehlikeleri içermemektedir.

Kaynak Gösterme; Bu haritanın kullanılmasında "AFAD, 2018, Türkiye Deprem Tehlike Haritası" şeklinde kaynak belirtilmesi gerekmektedir.

2019D Haritanın telif ve ikbas hakkı AFAD Başkanlığına aittir. AFAD'ın yazılı izni alınmadan elektronik, optik, mekanik veya diğer yollarla çoğaltılması, dağıtılması, basılması, yayımlanması durumunda gerekli hukuki yollara başvurulacaktır.



Şekil 1. Türkiye sismik tehlike haritası [18]

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018), deprem yer hareket düzeyi önceki yönetmeliklerden farklı olarak dört farklı şekilde ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında da kullanılan deprem yer hareket düzeyleri

Çizelge 1'de verilmiştir. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi için deprem parametre değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Deprem Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu	Aşılma Olasılığı (50 yılda)	Tanımı
DD-1	2475	0.02	En büyük deprem yer hareketi
DD-2	475	0.1	Standart tasarım deprem yer hareketi
DD-3	72	0.5	Sık deprem yer hareketi
DD-4	43	0.68	Servis deprem hareketi

Çizelge 1. Deprem yer hareketi düzeyleri [2]

Yeni deprem yönetmeliği ile zemin sınıflarının gösterimi de değişmiştir. Son deprem yönetmeliğinde yer alan zemin sınıfları ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Çizelge 2. Yerel zemin sınıfları [2]

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak seçilen geometrik konum için farklı deprem yer hareket düzeyleri için en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3'te gösterilmiştir.

En büyük yer ivmesi (g)				En büyük yer hızı (cm/s)-PGV			
50 yılda aşılma olasılığı				50 yılda aşılma olasılığı			
2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
0.489	0.259	0.105	0.075	27.742	14.714	6.308	4.685

Çizelge 3. Farklı aşılma olasılıkları için elde edilen PGA ve PGV değerleri

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak farklı deprem yer hareket düzeyleri için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (SS), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S1), değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Kısa periyot ivme katsayısı				1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı			
50 yılda aşılma olasılığı				50 yılda aşılma olasılığı			
2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
1.190	0.610	0.239	0.172	0.305	0.168	0.074	0.054

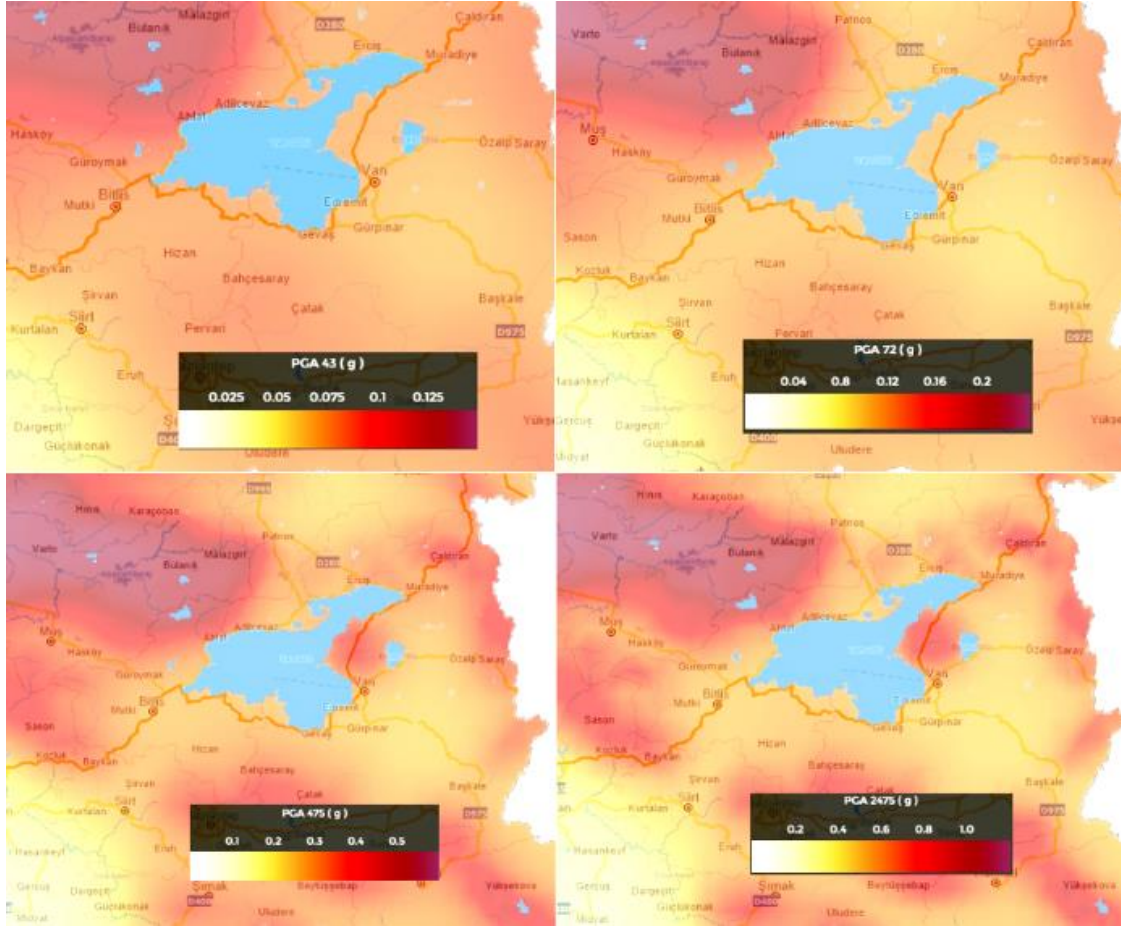
Çizelge 4. Farklı aşılma olasılıkları için elde edilen SS ve S1 değerleri

Yerel zemin etki katsayıları (FS ve F1), tasarım spektral ivme katsayıları (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS) ile 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD1)) ve yatay ile düşey elastik spektrum değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Farklı yer hareket düzeyleri ve zemin sınıfları için elde edilen değerlerin karşılaştırılması Çizelge 5'te verilmiştir.

Zemin Sınıfı	Parametre	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4	
ZA	F _S	0.800	0.800	0.800	0.800	
	F ₁	0.800	0.800	0.800	0.800	
	S _{DS}	0.952	0.488	0.191	0.138	
	S _{D1}	0.244	0.134	0.059	0.043	
	T _A	0.051	0.055	0.062	0.063	
	T _B	0.256	0.275	0.310	0.314	
	T _{AD}	0.017	0.018	0.021	0.021	
	T _{BD}	0.085	0.092	0.103	0.105	
	ZB	F _S	0.900	0.900	0.900	0.900
		F ₁	0.800	0.800	0.800	0.800
S _{DS}		1.071	0.549	0.215	0.155	
S _{D1}		0.244	0.134	0.059	0.043	
T _A		0.046	0.049	0.055	0.056	
T _B		0.228	0.245	0.275	0.279	
T _{AD}		0.015	0.016	0.018	0.019	
T _{BD}		0.076	0.082	0.092	0.093	
ZC		F _S	1.200	1.256	1.300	1.300
		F ₁	1.500	1.500	1.500	1.500
	S _{DS}	1.428	0.766	0.311	0.224	
	S _{D1}	0.458	0.252	0.111	0.081	
	T _A	0.064	0.066	0.071	0.072	
	T _B	0.320	0.329	0.357	0.362	
	T _{AD}	0.021	0.022	0.024	0.024	
	T _{BD}	0.107	0.110	0.119	0.121	
	ZD	F _S	1.024	1.312	1.600	1.600
		F ₁	1.195	2.264	2.400	2.400
S _{DS}		1.219	0.800	0.382	0.275	
S _{D1}		0.608	0.380	0.178	0.130	
T _A		0.100	0.095	0.093	0.094	
T _B		0.499	0.475	0.464	0.471	
T _{AD}		0.033	0.032	0.031	0.031	
T _{BD}		0.166	0.158	0.155	0.157	
ZE		F _S	0.948	1.524	2.400	2.400
		F ₁	2.780	3.588	4.200	4.200
	S _{DS}	1.128	0.930	0.574	0.413	
	S _{D1}	0.848	0.603	0.311	0.227	
	T _A	0.150	0.130	0.108	0.110	
	T _B	0.752	0.648	0.542	0.549	
	T _{AD}	0.050	0.043	0.036	0.037	
	T _{BD}	0.251	0.216	0.181	0.183	

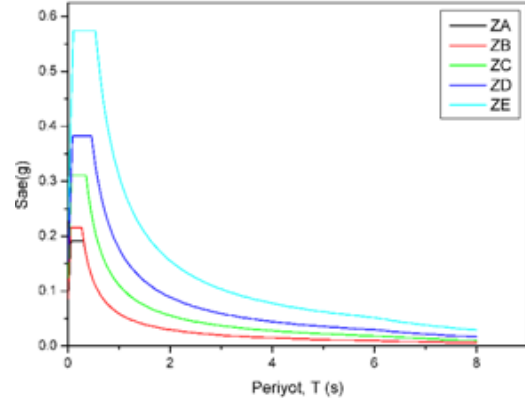
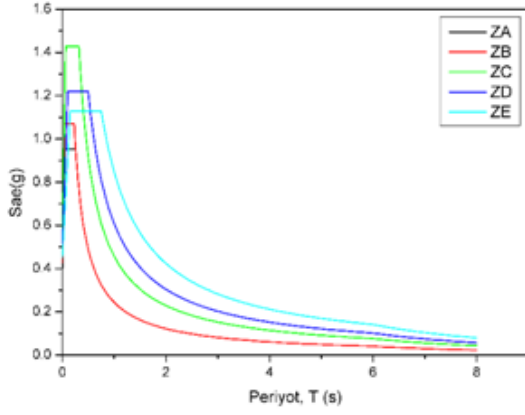
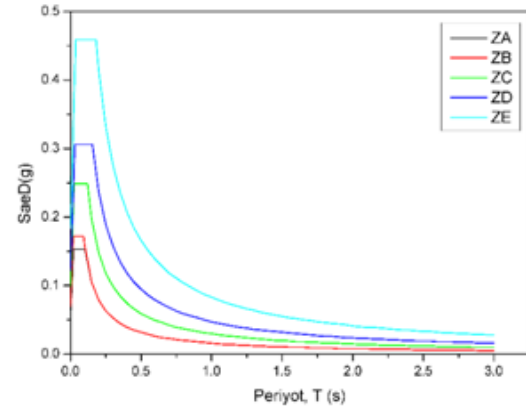
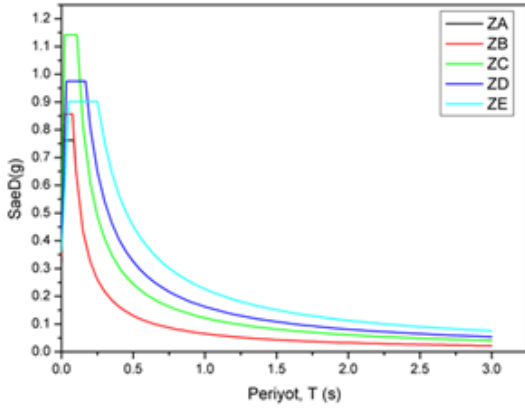
Çizelge 5. Deprem parametre değerlerinin farklı yer hareketleri ve zemin sınıfları için karşılaştırılması

Çalışmada dikkate alınan coğrafik konum için uygulama üzerinden elde edilen farklı aşılma olasılıkları için en büyük yer ivme haritaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



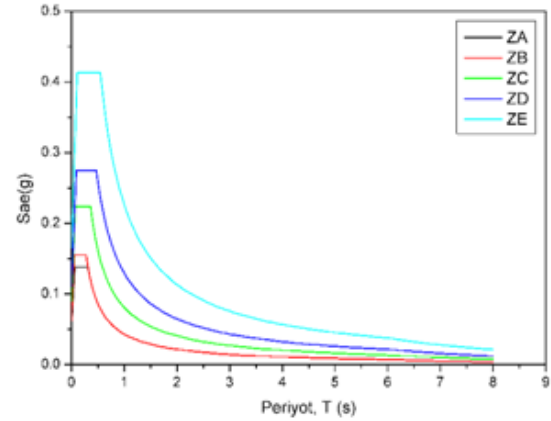
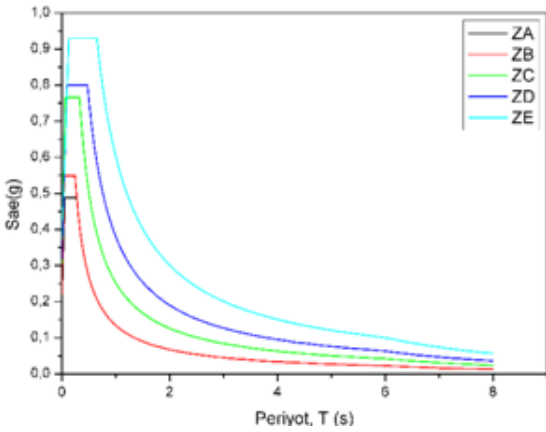
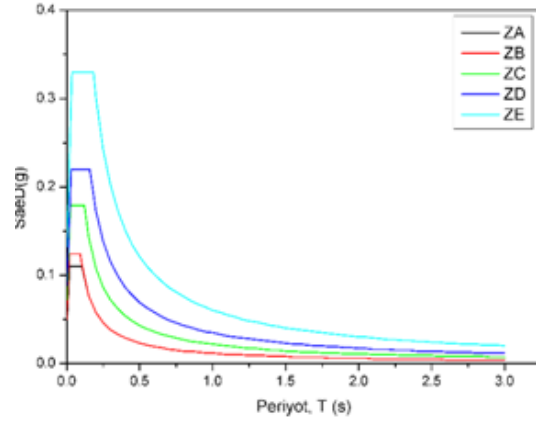
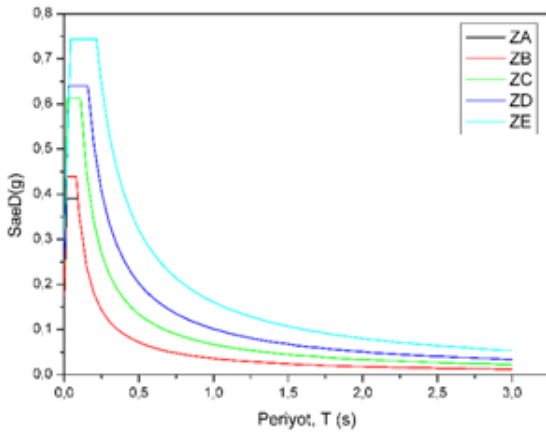
Şekil 2. Farklı yer aşılma olasılıkları için en büyük ivme değerlerini gösteren haritalar

Yapılan çalışmada, seçilen noktaya ait zemin sınıflarında kullanılacak olan spektrum değerleri Türkiye Deprem Haritaları internet ara yüzü kullanılarak her bir deprem düzeyi için elde edilmiştir. Farklı zemin grupları için elde edilen yatay ve düşey tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 3, 4, 5, ve 6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. DD-1 Tasarım Spektrum Eğrileri (a) Düşey, (b) Yatay

Şekil 5. DD-3 Tasarım Spektrum Eğrileri (a) Düşey, (b) Yatay



Şekil 4. DD-2 Tasarım Spektrum Eğrileri (a) Düşey, (b) Yatay

Şekil 6. DD-4 Tasarım Spektrum Eğrileri (a) Düşey, (b) Yatay

Araştırma Bulguları

Çalışmada, 2 katlı 2 açıklıklı betonarme düzlem çerçeve modeli kullanılmıştır. Betonarme yapı TBDY-2018 şartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Beton sınıfı C30/37, çelik B420C, kat yükseklikleri tüm katlarda 3.00 m ve açıklık uzunlukları 4.00 m olarak seçilmiştir. Tüm katlarda giriş boyutları 25*50 cm, kolon boyutları ise 30*60 cm'dir. Katlar rijit diyafram olarak tasarlanıp giriş ve kolonlar için yönetmelikte belirtilen etkin rijitlik katsayıları tanımlanmıştır. Ölü yük değeri dış kirişlerde 8 kN/m, iç kirişlerde 6 kN/m ve tüm kirişlere gelen hareketli yük 5 kN/m olarak kabul edilmiştir. Hareketli yük katılım katsayısı ise bina olduğundan kaynaklı 0,3 alınmıştır. Çizelge 6'da ZA deprem sınıfına bağlı olarak diğer katsayıların değişim oranları gösterilmiştir.

	ZA	ZB (%)	ZC (%)	ZD (%)	ZE (%)
F _s	0	12.5	57.0	64.0	90.5
F ₁	0	0	87.5	183.0	348.5
S _{DS}	0	12.5	57.0	64.0	90.6
S _{D1}	0	0	88.1	183.6	350.0

Çizelge 6. ZA sınıfına bağlı olarak ZB, ZC, ZD ve ZE sınıfı değer oranı

Değerler hesaplanırken TBDY-2018'de belirtilen tasarım ve doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak hesaplanmış ve yönetmelikteki şartların sağlanma kontrolü yapılmıştır. Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükü yönetmelikte bulunan aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$V_{TE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (1)$$

Burada:

$\Delta F_{NE}^{(X)}$ = N'inci kata etkileyen ek eşdeğer deprem yüküdür ve bu değer yine yönetmelikte verilen:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{TE}^{(X)} \quad (2)$$

formülü ile belirlenmiştir. Toplam eşdeğer yükün dışında kalan kısım ise bina katlarına aşağıdaki formül kullanılarak dağıtılmıştır.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{TE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) + \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3)$$

Kolon ve kirişlere etkileyen kuvvetler MUTO yöntemiyle hesaplanarak çizelgeler oluşturulmuştur. Çizelge 7, 8, 9, 10 ve 11 zemin sınıflarına göre hesaplanarak elde edilen çubuk uç kuvvetlerini göstermektedir.

Kat No	Kolon Adı	k _c (x10 ⁴)	k'	a	D (x10 ⁴)	V	Y _x	M(üst t)	M(al t)
2	S204	2,63	2,9 2	0,5 9	1,56	3,92	0,4 5	6,47	5,30
	S205	4,98	3,1 1	0,6 1	3,03	7,64	0,4 5	12,60	10,31
	S206	2,63	2,9 9	0,6 0	1,57	3,96	0,4 5	6,54	5,35
Toplam					6,16	15,5 2		25,61	20,96

1	S104	2,63	2,9 2	0,7 0	1,82	6,46	0,5 8	8,24	11,15
	S105	4,98	3,1 2	0,7 1	3,52	12,4 6	0,5 8	15,89	21,49
	S106	2,63	2,9 9	0,7 0	1,84	6,50	0,5 8	8,29	11,22
Toplam					7,17	25,4 2		32,41	43,85

Çizelge 7. Muto Metoduyla Çubuk ZA Uç Kuvvetleri

Kat No	Kolon Adı	k _c (x10 ⁴)	k'	a	D (x10 ⁴)	V	Y _x	M(üst t)	M(al t)
2	S204	2,63	2,9 2	0,5 9	1,56	4,14	0,4 5	6,83	5,59
	S205	4,98	3,1 1	0,6 1	3,03	8,05	0,4 5	13,29	10,87
	S206	2,63	2,9 9	0,6 0	1,57	4,18	0,4 5	6,90	5,64
Toplam					6,16	16,3 7		27,01	22,10
1	S104	2,63	2,9 2	0,6 9	1,82	6,81	0,5 8	8,69	11,75
	S105	4,98	3,1 1	0,7 1	3,52	13,1 4	0,5 8	16,75	22,67
	S106	2,63	2,9 9	0,7 0	1,84	6,86	0,5 8	8,74	11,83
Toplam					7,18	26,8 1		34,18	46,25

Çizelge 8. Muto Metoduyla Çubuk ZB Uç Kuvvetleri

Kat No	Kolon Adı	k _c (x10 ⁴)	k'	a	D (x10 ⁴)	V	Y _x	M(üst t)	M(al t)
2	S204	2,63	2,9 2	0,5 9	1,56	6,77	0,4 5	11,16	9,13
	S205	4,98	3,1 1	0,6 1	3,03	13,1 7	0,4 5	21,73	17,78
	S206	2,63	2,9 9	0,6 0	1,57	6,83	0,4 5	11,27	9,22
Toplam					6,16	26,7 7		44,16	36,13
1	S104	2,63	2,9 2	0,6 9	1,82	11,1 4	0,5 8	14,20	19,22
	S105	4,98	3,1 1	0,7 1	3,52	21,4 8	0,5 8	27,39	37,06
	S106	2,63	2,9 9	0,7 0	1,84	11,2 1	0,5 8	14,29	19,34
Toplam					7,18	43,8 3		55,89	75,61

Çizelge 9. Muto Metoduyla Çubuk ZC Uç Kuvvetleri

Kat No	Kolon Adı	k _c (x10 ⁴)	k'	a	D (x10 ⁴)	V	Y _x	M(üst t)	M(al t)
2	S204	2,63	2,9 2	0,5 9	1,56	8,35	0,4 5	13,78	11,27
	S205	4,98	3,1 1	0,6 1	3,03	16,2 5	0,4 5	26,82	21,94
	S206	2,63	2,9 9	0,6 0	1,57	8,43	0,4 5	13,92	11,39
Toplam					6,16	33,0 4		54,51	44,60
1	S104	2,63	2,9 2	0,6 9	1,82	13,7 5	0,5 8	17,53	23,72
	S105	4,98	3,1 1	0,7 1	3,52	26,5 2	0,5 8	33,81	45,74
	S106	2,63	2,9 9	0,7 0	1,84	13,8 4	0,5 8	17,64	23,87
Toplam					7,18	54,1 0		68,98	93,33

Çizelge 10. Muto Metoduyla Çubuk ZD Uç Kuvvetleri

Kat No	Kolon Adı	k _c (x10 ⁴)	k'	a	D (x10 ⁴)	V	Y _x	M(üst t)	M(al t)
2	S204	2,63	2,9 2	0,5 9	1,56	10,8 9	0,4 5	17,97	14,70
	S205	4,98	3,1 1	0,6 1	3,03	21,2 0	0,4 5	34,98	28,62
	S206	2,63	2,9 9	0,6 0	1,57	11,0 0	0,4 5	18,15	14,85
Toplam					6,16	43,0 9		71,09	58,17
1	S104	2,63	2,9 2	0,6 9	1,82	17,9 3	0,5 8	22,86	30,93
	S105	4,98	3,1 1	0,7 1	3,52	34,5 8	0,5 8	44,09	59,65
	S106	2,63	2,9 9	0,7 0	1,84	18,0 5	0,5 8	23,01	31,13
Toplam					7,18	70,5 6		89,96	121,7 1

Çizelge 11. Muto Metoduyla Çubuk ZE Uç Kuvvetleri

Çizelge 12’de her bir zemin sınıfından elde edilen kolon uç momentleri bir arada gösterilerek değerler Şekil 7’de grafiğe aktarılmıştır.

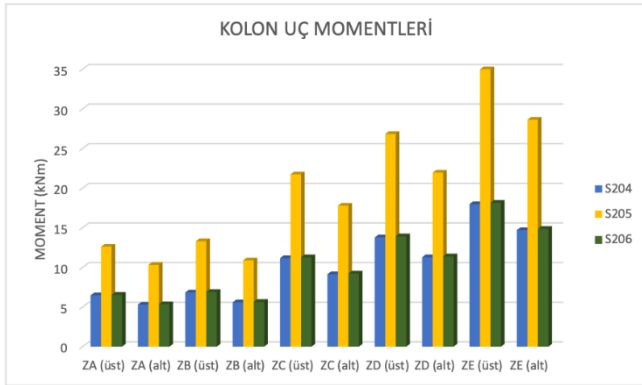
Kat No	Kolon Adı	ZA		ZB		ZC		ZD		ZE	
		M(üst)	M(alt)	M(üst)	M(alt)	M(üst)	M(alt)	M(üst)	M(alt)	M(üst)	M(alt)
2	S204	6,47	5,30	6,83	5,59	11,16	9,13	13,78	11,27	17,97	14,70
	S205	12,60	10,31	13,29	10,87	21,73	17,78	26,82	21,94	34,98	28,62
	S206	6,54	5,30	6,90	5,64	11,27	9,22	13,92	11,39	18,15	14,85
1	S104	8,24	11,14	8,69	11,75	14,20	19,20	17,53	23,72	22,86	30,93
	S105	15,89	21,49	16,75	22,67	27,39	37,06	33,81	45,74	44,09	59,65
	S106	8,29	11,14	8,74	11,83	14,29	19,34	17,64	23,87	23,01	31,13

Çizelge 12. Zemin Sınıflarına Göre Kolon Uç Momentleri

Çizelge 13 zemin sınıflarına göre hesaplanan kiriş uç momentlerini göstermektedir.

Kat	Kiriş	Kelebek	ZA		ZB		ZC		ZD		ZE	
			Mo ment	Değ işim	Mo ment	Değ işim	Mo ment	Değ işim	Mo ment	Değ işim	Mo ment	Değ işim
2	K103	sol	6,47	6,83	5,5%	11,16	72,4%	13,78	112,8%	17,97	177,7%	6%
		sağ	6,22	6,56	5,5%	10,73	72,4%	13,25	112,8%	17,27	177,7%	6%
	K104	sol	6,38	6,73	5,5%	11,00	72,4%	13,57	112,8%	17,70	177,6%	6%
		sağ	6,54	6,90	5,5%	11,27	72,4%	13,92	112,8%	18,15	177,6%	6%
1	K103	sol	13,53	14,27	5,5%	23,34	72,4%	28,80	112,8%	37,56	177,6%	6%
		sağ	12,94	13,64	5,5%	22,31	72,4%	27,54	112,8%	35,91	177,6%	6%
	K104	sol	13,26	13,98	5,5%	22,86	72,4%	28,22	112,8%	36,80	177,6%	6%
		sağ	13,64	14,38	5,5%	23,52	72,4%	29,03	112,8%	37,86	177,6%	6%

Çizelge 13. Zemin Sınıflarına Göre Kiriş Uç Momentleri



Şekil 7. Zemin Sınıflarına Göre İkinci Kat Kolon Uç Momentleri

Sonuçlar

TBDY-2018 üzerine yapı gelecek olan zeminleri, eski yönetmeliğe göre çok daha geniş bir düzlemde ele alarak zeminlerde detaylı bir sınıflandırmaya gitmiştir. Bu kapsamda farklı zemin sınıflarını ile yer hareketi düzeylerinin betonarme çerçeve bir yapı üzerinde etkisi çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yerel zemin katsayılarına bağlı olarak 8 farklı spektrum grafiği ve zemin sınıflarına bağlı olarak kolon ve kiriş uç moment etkisi değerlendirilmiştir.

Yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak değişen S_{DS} değerleri genel olarak ZA ile ZC arası artış gösterirken ZD

ve ZE zemin sınıflarında bir azalma göstermiştir. İyi olarak kabul edilen zemin sınıfında en kötü zemin sınıfına doğru S_{DS} değerlerinde artış meydana gelmiştir.

İvme spektrumları kullanılacağı konuma göre değişiklik göstermesinin yanı sıra iyi zemin (ZA) standart spektrum değerlerine yakın çıkarken kötü zemin (ZE) ise daha büyük ivme değerleri göstermiştir.

Kolon ve kirişlere gelen yükler ZA zemin sınıfı temel alındığında %178'lere kadar arttığı gözlemlenmiştir. ZA ve ZB zemin sınıflarına ait veriler arasında sadece %5,5'lik bir farkın olduğu, ancak zemin sınıfı ZC olduğunda ise gelen yük oranı %74,4 olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, yapıların inşa edildiği zeminlerin sınıfı ile herhangi bir deprem anında yapıya gelecek deprem kuvvetleri ve bu kuvvetlerin etkisiyle de yapının kesit tesirleri büyük oranda değiştirmektedir. Yapı tasarımlarında deprem kuvvetlerinin etkisi yadsınmayacak derecede yapıya etkimektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [2] TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [3] Işık, E. (2016). Consistency of the rapid assessment method for reinforced concrete buildings. *Earthquakes and Structures*, 11(5), 873-885. <https://doi.org/10.12989/eas.2016.11.5.873>
- [4] Özcebe, G., Yucemen, M. S., Aydoğan, V., & Yakut, A. (2003). Preliminary seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey. In *Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings* (pp. 29-42). Springer, Dordrecht.
- [5] Arslan, M. H. (2010). An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks. *Engineering Structures*, 32(7), 1888-1898.
- [6] Işık, E., Karasin, İ.B., Ulu, A.E. (2020). Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 162-170. DOI: 10.31590/ejosat.757763.
- [7] Yakut, A. (2004). Preliminary seismic performance assessment procedure for existing RC buildings. *Engineering Structures*, 26(10), 1447-1461. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.05.011>
- [8] Karasin, İ. B., Işık, E., Karasin, A., & Özdemir, M. (2017). Betonarme Yapılarda Tepe-Yamaç Etkisinin Yapı Performansına Etkisi. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17)*, Bitlis, Türkiye.

- [9] Tezcan, S. S., Bal, I. E., & Gulay, F. G. (2011). P25 scoring method for the collapse vulnerability assessment of R/C buildings. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 34(6), 769-781. <https://doi.org/10.1080/02533839.2011.591548>
- [10] Sreerama, A. K., & Ramancharla, P. K. (2013, October). Earthquake behavior of reinforced concrete framed buildings on hill slopes. In *International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA 2013)*.
- [11] Šipoš, T. K., & Hadzima-Nyarko, M. (2017). Rapid seismic risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.06.025>
- [12] Işık, E., Özdemir, M., & Karaşin, İ. B. (2018). Performance analysis of steel structures with A3 irregularities. *International Journal of Steel Structures*, 18(3), 1083-1094. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0046-6>
- [13] Hadzima-Nyarko, M., & Kalman Sipos, T. (2017). Insights from existing earthquake loss assessment research in Croatia. *Earthquakes and Structures*, 13(4), 365-375. <https://doi.org/10.12989/eas.2017.13.4.401>
- [14] Xian, L., He, Z., & Ou, X. (2016). Incorporation of collapse safety margin into direct earthquake loss estimate. *Earthquakes and Structures*, 10(2), 429-450. <https://doi.org/10.12989/eas.2016.10.2.4>
- [15] Arslan, M. H., Köroğlu, M. A., & Köken, A. (2008). Binaların yapısal performansının statik itme analizi ile belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.
- [16] Başaran, V., (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY 2019) Göre Afyonkarahisar İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*. 18, 1028-1035.
- [17] Başaran, V., Hiçyılmaz, M., (2020). Betonarme Çerçevelerde Farklı Deprem Yer Hareketi Düzeyi Etkilerinin İncelenmesi, *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*. 2(1), 27-41.
- [18] Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/> (Erişim tarihi: 25.01.2021)
- [19] Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 561-582. <https://doi.org/10.1002/eqe.144>
- [20] Ademovic, N., Hrasnica, M., & Oliveira, D.V. (2013). Pushover analysis and failure pattern of a typical masonry residential building in Bosnia and Herzegovina. *Engineering Structures*, 50, 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.11.031>
- [21] Işık, E., & Kutanis M. (2015). Performance based assessment for existing residential buildings in Lake Van basin and seismicity of the region. *Earthquakes and Structures*, 9(4), 893-910. <https://doi.org/10.12989/eas.2015.9.4.893>



Investigation of structural problems on the ground and walls of Diyarbakir Historical Behram Pasha Mosque by the georadar (GPR) method

Nursen İŞİK^{1*}

¹ Dicle University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Diyarbakir, Turkey, Orcid No: 0000-0002-6125-1896

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 July 2021
Received in revised form 27 July 2021
Accepted 28 July 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

Diyarbakir, Behram Pasha Mosque,
Georadar(GPR), structural problem

Doi: 10.24012/dumf.1002241

* Corresponding author

ABSTRACT

Behram Pasha Mosque is one of the historical mosques, which is the work of Mimar Sinan [1], located in the southwest of Diyarbakir's Suriçi Region.

Georadar (GPR) method is one of the geophysical applications in which possible gaps, fractures, collapses, etc. damages are determined non-destructively on the walls and floors of historical buildings.

Therefore, in one of the historic mosques in Diyarbakir Behram Pasha Mosque, expert geophysical engineers carried out the GPR scanning of the grounds and walls without damaging the mosque's physical structure.

In GPR surveys, the depth of investigation (penetration) was chosen as 20 m on the ground and 4 m on the wall. It is aimed to show the anomaly structures in the study area and its immediate surroundings due to the determination of the underground void structures and the continuity of the surface fractures at the research depth.

In GPR studies, it has been determined that there are cracks and fractures on the walls of the mosque, of which the smallest was 12 cm and the largest was 40 cm, water leakage on the ground, deterioration due to corrosion, and partial collapses. The regions with the detected deformations are marked on the radar sections.

The study was completed with the thought that the determined structural problems will contribute to the restoration and strengthening works to be done in the future in the mosque as an up-to-date guide.

Introduction

Diyarbakir Suriçi Region is a settlement center bearing the traces of culture and civilization where are historical mosques, churches, bazaars, inns, Turkish baths, and traditional houses. Except for the Ulu Mosque, which was built in the 7th century in the Suriçi Region, most of the other mosques were built in the 15th-16th centuries and later [2].

Behram Pasha Mosque, located in the southwestern part of the Suriçi Region, is the only mosque that has a two-row portico courtyard. According to its inscription, Behram Pasha, who is one of the governors of Diyarbakir, between 1564-1572, built Behram Pasha Mosque. In "Tuhfetul Mi'marin", which describes Mimar Sinan's works, it is reported that the mosque is the work of Mimar Sinan [3].

The existing problems in the mosques that have survived in the Suriçi Region were corrected by carrying out restoration and strengthening works in due course. The

determination of general problems, especially structural problems in mosques, is done in two ways, instrumentally and observationally. In addition to evaluating the damage level by making observational determinations, it is very important for the restoration and strengthening of the structures to support the damage levels and the region by supporting them with instrumental determinations.

In recent years, non-destructive testing methods that do not damage the historic structure have been widely employed. Georadar (GPR) method is one of the measurement techniques made by sending electromagnetic waves to the damaged areas of the building or to the whole building scale. Georadar (GPR) is one of the high-frequency electromagnetic geophysics methods used to investigate damages on floors and walls. The ease of use of this method, its fast data collection feature, and the fact that it does not damage the structure while applying the method are among the main advantages of this method. In addition, precise detection of damage with high-resolution 2D and 3D imaging possibilities has been one of the features that

made this method widespread [4-7], as its working principle is shown in Figure 1.

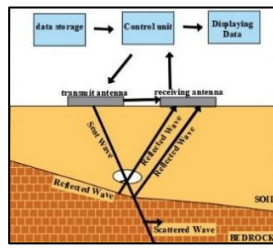


Figure 1. Working principle of the GPR device [7]

In this study, measurements in Behram Pasha Mosque were made with a Zond Python 3 GPR device having 250/100/50 /38 /25 MHz central antenna with 1.6 GHz and other outdoor antennas, as indicated in Figure 2.



Figure 2. Georadar scans with Zond Python 3 GPR device in Behram Pasha Mosque

The current locations and levels of damage were determined by GPR scans made on the floors and walls. In the surveys made by expert geophysicists, 20 m on the ground and 4 m on the walls were designated as the research depth. Because of the scans made inside the mosque and in the courtyard, it was determined that there were cracks and fractures on the walls of the mosque and corrosion and discharges due to water leakage on the floor. It has been observed that there are cracks and fractures especially on the ground of the mosque minbar and its surroundings after approximately 2.50 m and it is concentrated in these areas. Cracks and deformations, of which the smallest is 12 cm and the largest is 40 cm, were detected in the scans carried out on the walls. The radargrams achieved as a result of the scans were filtered and the areas involving structural problems were marked.

Location and architectural features of Behram Pasha Mosque in the Suriçi Region

Behram Pasha Mosque is located in the southwestern part of the Suriçi Region, on Bayram Pasha Street in the Süleyman Nazif District, as shown in Figure 3 a, b. It was built between 1564-1572 [3, 9] using the traditional masonry construction technique.

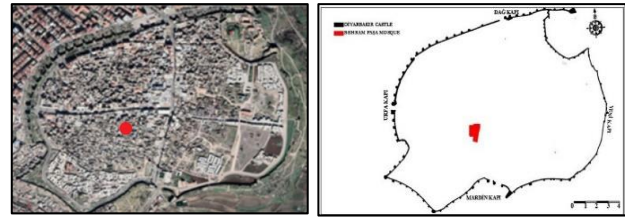


Figure 3. Location of Behram Pasha Mosque in the Suriçi Region

There are two entrances in the Behram Pasha Mosque. The entrance from Bayram Pasha Street is closed and the entrance to the mosque is provided from the southeast direction. There is a five-domed portico in the north of the square-planned harim and a second portico with a wooden ceiling in front of it. Braided columns made of limestone and basalt stone, as can be seen in Figure 4 carry the portico.



Figure 4. Behram Pasha Mosque (2021)

The structure with its alternating (two-colored) masonry and stalactite stone decorations collectively resembles İstanbul mosque architecture in plan layout [10]. It is entered to the harim of the mosque through a stalactite crown door with stone ornaments. There are two windows on the east and west sides of the crown door and a mihrabiye between the windows. The floor and dome of the entrance door are decorated with ornaments, as shown in Figure 5.



Figure 5. Detail of the muqarnas on the crown gate of Behram Pasha Mosque

There are two rows of the portico in the mosque, one with a wooden ceiling and the other with five domes, as demonstrated in Figure 6 a, b.

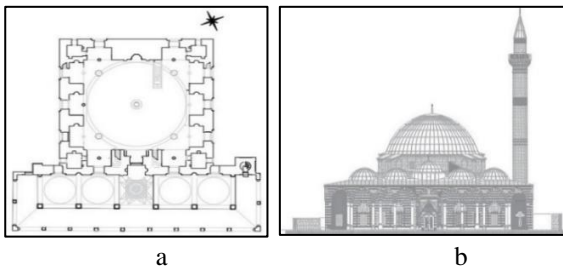


Figure 6. The plan layout and northern façade of Diyarbakır Behram Pasha Mosque [11]

It is stated in the sources¹ that the portico with wooden ceiling was built after the other one. The portico place in the first row consists of six white stone columns while the portico in the second row consists of eight columns, two of which are alternately braided, and two pillars. The height of the portico with a flat ceiling made of wood is at a lower level than the first constructed, domed one. The domed portico, first constructed, and the east and west parts of the crown door are approximately 40 cm above the floor, and the wooden ceiling portico is approximately 20 cm above the ground. There are tension rods between the arches in the portico. The photographic view of the porticos is presented in Figure 7 a and b.

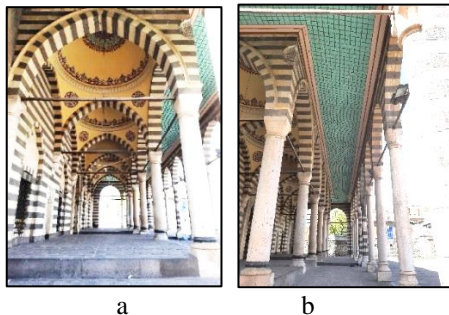


Figure 7. The photographic view of portico of Behram Pasha Mosque (2021)

The minaret in the northwest of the mosque has a cylindrical form. The honor section is decorated with stone and its cone is lead-coated. In the courtyard of the mosque, there is an octagonal fountain with a pointed cone roof and woven columns, as demonstrated in Figure 8.



Figure 8. Photographic view of minaret and fountain of Behram Pasha Mosque (2021)

The entrance to the square planned harim is through a crown door with a stalactite. On the right and left of the entrance of the harim, there are stairs with stone steps leading to the mahfil. The entrance to the qibla and rooms (cells) in the direction of the north is provided by niches. The square-planned harim was transformed into an octagonal form with the help of squinches. The dome made of limestone is seated on an octagonal drum at the top. The main dome and the domes of the portico are lead-coated, as shown in Figure 9.



Figure 9. The lead-coated domes of Behram Pasha Mosque (2021)

Besides, the photographic view of the eastern and southern interior walls of the harim section of Behram Pasha Mosque is presented in Figure 10 a and b.



Figure 10. The eastern and southern interior walls of the harim section of Behram Pasha Mosque (2021)

There are three iwan-shaped niches on the east and west sides of the harim. The vaulted iwans are arranged as two for each direction due to the crown door and the mihrab in the entrance region. The bottom of the mahfil region on the north wall is a flat slab paved with interlocking stones. In the original form of this floor, no binding material was used. However, in the restorations made over time, the spaces between the stones were partially filled with mortar, as can be seen in Figure 11.

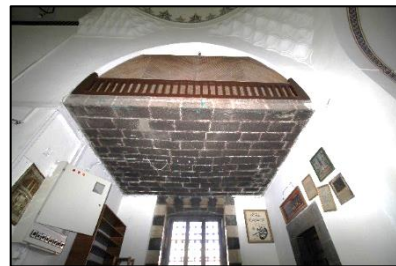


Figure 11. Flat floor made with interlocking stones under the mahfil (2021)

¹ Tuncer, O. C. (1996) "Diyarbakır camileri" "Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi yayımları. Diyarbakır.

Approximately 1 m of the bottom part of the walls of harim are covered with encaustic tiles. The mihrab is covered with colored stone material. There is a small mihrab on the upper part of the east and west walls of harim. There are mihrabiyes on the east and west sides of the crown gate in the portico of the mosque, as indicated in Figure 12 a, b and c.

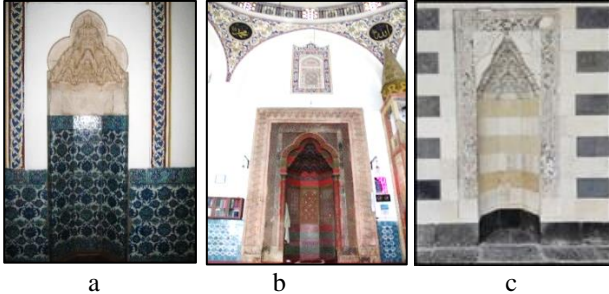


Figure 12. Encaustic tile decoration in the harim and the mihrabiye in the mihrab and portico (2021)

Structural problems detected in Behram Pasha Mosque

Behram Pasha Mosque occupies an important place in Diyarbakır thanks to its plan layout, construction technique, and original stonework and decorations. The mosque has undergone many repairs in the past. However, no extensive restoration has been carried out in the mosque recently. For this reason, some structural problems have occurred in the building over time. An observational field study was conducted to determine the existing structural problems in the mosque. During the fieldwork, partial cracks were detected on the northern façade of the mosque and the lintels of the minaret entrance door and window on the southern façade, as shown in Figure 13 a, b, c. Vertical cracks and partial level irregularities in the mosque cause to think possible settlements due to the ground.

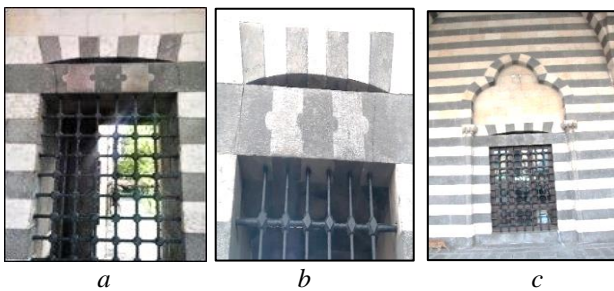


Figure 13. Cracks in the lintels of the Behram Pasha Mosque (2021)

In the harim, partial material losses occurred on the windowsills and outer surfaces of the niches defined as the iwan. There are also mortar losses on the southern and western façades of the mosque. There is a loss of material in the lower and upper column headings of the portico. Due to the absence of tension rings on the columns, partial slidings occurred between the column base and the sub-headings. Temporary solutions were made by filling the

column parts with mortar, as can be seen in Figure 14 a, b and c.

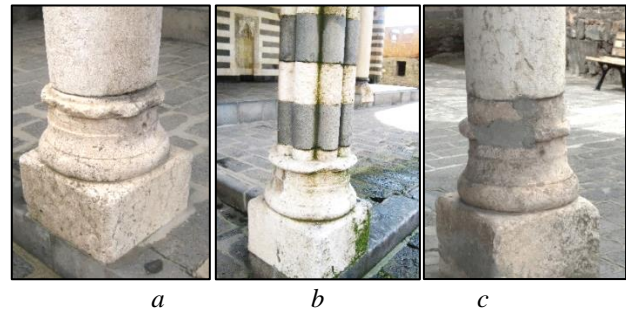


Figure 14. Material loss in columns and partial axle slip damage (2021)

Mortar losses and contaminations have occurred on the façade due to external conditions. Especially, on the southern and western façades that were exposed to the sun, discharges depending on mortar losses and separations on the wall have occurred. There are darkening and partial stone deterioration and moss on the façade surfaces where pollution is intense, as demonstrated in Figure 15.

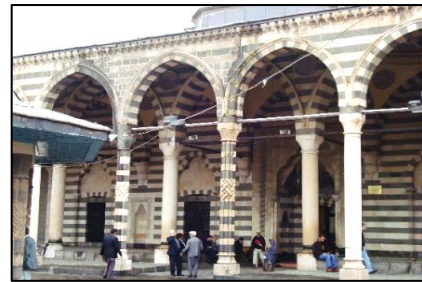


Figure 15. Weathering damages and contamination on façades (2021)

Some of the lead plates in the domes have been corroded over time due to the effects of external conditions, and openings have occurred between some of the lead plates, as can be seen in Figure 16. There are mortar losses between the stones on the flying buttresses made of limestone in the dome. In addition, there are material losses and deterioration due to pollution in the balcony section of the minaret, as shown in Figure 16 a and b.



Figure 16. Openings between lead plates and segregation damages in buttresses (2021)

Instrumental measurements made by GPR method in Behram Pasha Mosque

GPR method is the comparison of the changes in the signals that were produced by electromagnetic waves, generally manufactured by antennas, with the original signals during their underground travel and return [12]. GPR signals determine their velocities according to the physical and chemical conditions of the environment. After the signals reach the desired point, it starts to collect data. By knowing the time the signals reach and the speed of the measuring medium, the investigation depth can be determined precisely. The travel time of GPR signals is measured in nanoseconds. The antennas of the measuring device are fixed or displaced in the range of 2-20 cm [13].

Instrumental surveys were carried out with the GPR method in order to determine the causes of the structural problems detected in the Behram Paşa Mosque, located in the southwest of Diyarbakır Suriçi Region. In the scans made on the floor and walls of the mosque, the investigation depth was chosen as 20.00 m for the ground and 4.00 m for the walls. Possible deformations were investigated by scanning with Zone Python 3 device having high-resolution antennas. During this study, observational geological and instrumental geophysical studies were carried out to examine the source(s) of underground space/voids, the deformations in the ground/wall and the dimensions of sub-floor surface fractures, geometric behavior patterns and soil/wall stratigraphic changes.

After the investigation of the geological features of Behram Pasha Mosque and its surroundings, scanning was started. The geology of the study area is Miocene and consists of continental clastics belonging to this age. In the geological and geotechnical studies carried out in the study area and its immediate surroundings, lithological ordering from the ground to the underground; the vegetable soil unit continues as a clayey unit, clayey sandy unit, and clayey silty sand unit. Although the stacking changes in the ground differ locally, in general, the order has not changed [14].

This study was carried out to determine the causes of the structural problems in the Behram Pasha Mosque. The current situation of the structural problems on the floors and walls has been intended to determine instrumentally. Non-destructive methods can be used to detect structural problems in historical buildings without damaging the building and the GPR method is one of the non-destructive methods. For this reason, the structural problems in the mosque, the causes of damage were investigated by scanning the floors and walls.

GPR scanning locations and evaluations on the ground of Behram Paşa Mosque

In GPR scanings, a surveying depth of 20.00 m was chosen for the ground. The anomalies and deformations detected according to the data obtained because of the scans made on the ground are shown in the radargram sections². Ground scans were carried out in the harim, portico, and courtyard, as can be seen in Figure 17 a and b.



Figure 17. Photographic view of ground scans of Behram Pasha Mosque; harim and portico (2020)

The locations of the GPR scanning are marked on the plan layout of the mosque that presented in Figure 18.

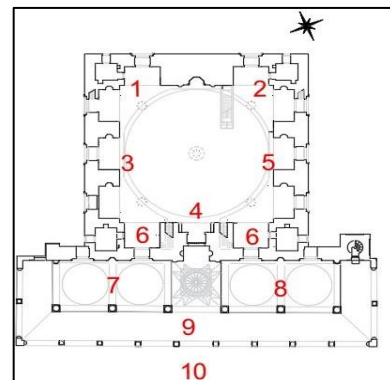


Figure 18. Locations of GPR scans on the ground of Behram Pasha Mosque

Behram Pasha Mosque GPR scans of grounds

Scanning at the ground of location 1

70 m profile length and 20 m depth of research were selected in the ground survey carried out in the southeast part of Behram Pasha Mosque, GPR 1 (1). According to the obtained radargram sections, two different levels of the medium, one is loose unit lying from the ground to 2.5 m depth and the other one is hard unit starting from 2.5 m and ending at the 10.00 m depth, were detected in the scanned area. No deformation was detected in this section (Figure 19).

² Radargram: Radar tracks at all measurement points along a profile are 2D radar cross-sections whose horizontal axis (x-direction) is the distance from the profile starting point (profile length), vertical axis is nanosecond

(ns) recording time (round-trip) when they are aligned with their positions on the profile [5,15].

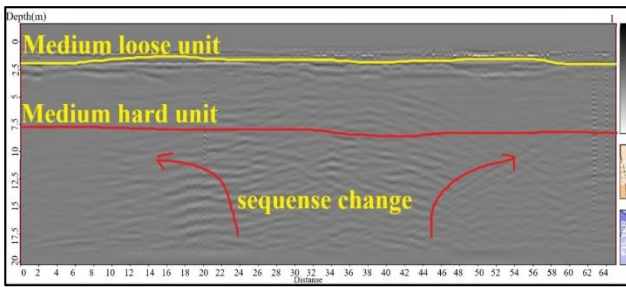


Figure 19. Radargram section of the ground of location 1

Scanning at the ground of location 2

A profile length of 30 m and a surveying depth of 20 m was designated at the southwest of the mosque, location number 2. According to the obtained radargram sections, two different levels of the medium, one is loose unit lying from the ground to 2.5 m depth and the other one is hard unit starting from 2.5 m and ending at the 10.00 m depth, were detected in the scanned area. In this region, subsidence deformations between 2.5 m and 6.00 m were detected. It was determined that there are stack changes between 6.00 m and 9.00 m (Figure 20).

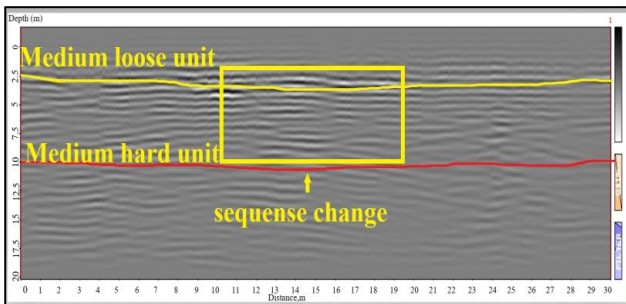


Figure 20. Radargram section of the ground of location 2

Scanning at the ground of location 3

In the harim of the mosque, namely location number 3, no deformation was detected except for the changes in the stack (Figure 21).

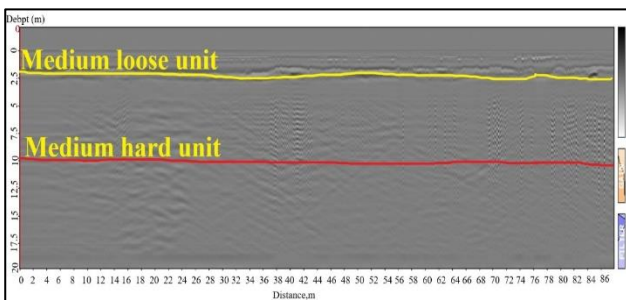


Figure 21. Radargram section of the ground of location 3

Scanning at the ground of location 4

In the scans made in the direction of the entrance door of the harim and mihrab, in other words at location number 4, two collapsed deformations were observed. It was

determined that the first collapse is between 1.00 m and 4.00 m, and the second collapse is between 1.00 m and 6.00 m (Figure 22).

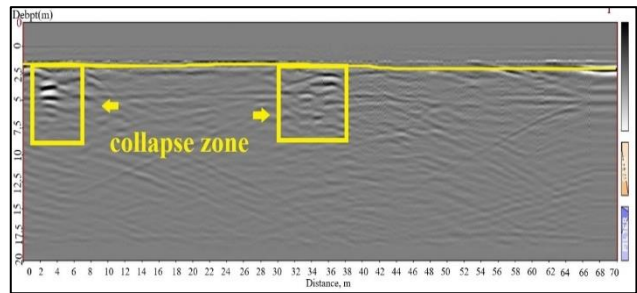


Figure 22. Radargram section of the ground of location 4

Scanning at the ground of location 5

According to the obtained radargram sections, two different levels of the medium, medium-loose unit between 0 and 2.5 m depth and medium-hard unit between 2.5 m and 10.00 m depth, were detected in the scanned area. In this part of the mosque, no deformation was observed except for the changes in the stack (Figure 23).

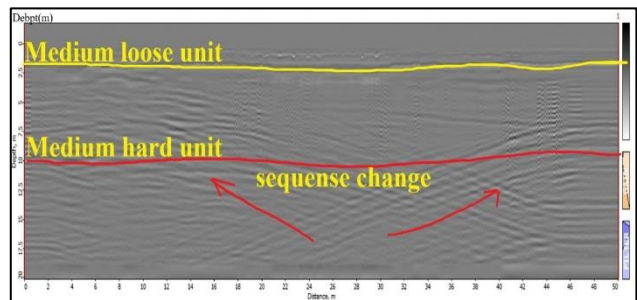


Figure 23. Radargram section of the ground of location 5

Scanning at the ground of location 6

In the scans made under the mahfil on the northern façade of the mosque’s harim, a medium-loose unit up to 2.50 m and a medium-hard unit between 2.50-10.00 m were identified.

According to the radargram sections and velocity analyzes obtained, it was determined that there was a dense water structure after 12.50 m. Partial collapse deformations are thought to occur in areas where water is concentrated (Figure 24).

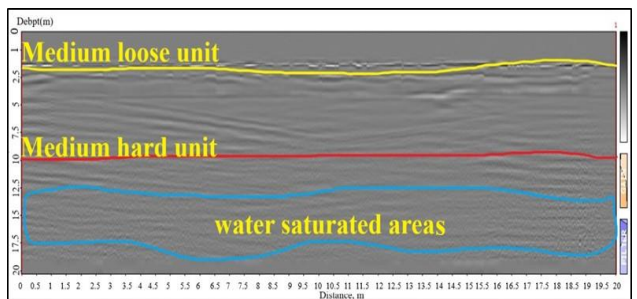


Figure 24. Radargram section of the ground of location 6

Scanning at the ground of location 7

In the GPR surveys made in the northeast direction of the first portico, it was determined that the ground was medium-loose unit up to 2.5 m and medium-hard unit differentiation between 2.50 m and 10.00 m. Intense water-saturated areas were detected in the 1.00-5.00 m range of the scanned area. There are partial collapses in these areas (Figure 25).

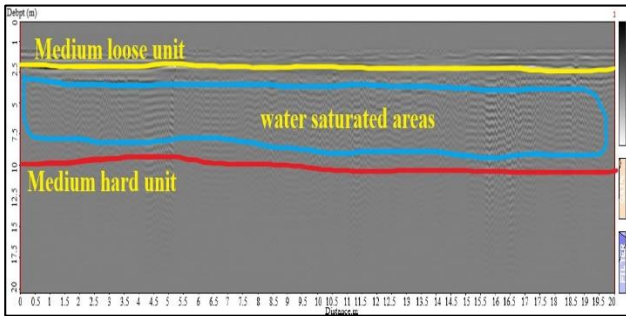


Figure 25. Radargram section of the ground of location 7

Scanning at the ground of location 8

In the scans made in the northwest of the first portico of the mosque, it was observed that there is a medium-loose unit up to 2.5 m and a medium-hard unit in the range of 2.50-10.00 m. In this part of the portico, it has been determined by radargram sections that there is no deformation except for the stack changes (Figure 26).

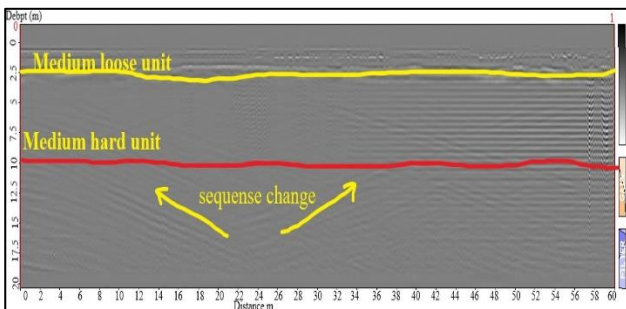


Figure 26. Radargram section of the ground of location 8

Scanning at the ground of location 9

GPR scans made in the second portico of the mosque revealed a gap of 2 m in diameter at a depth of 1 m between the depth of 1 m and 8.00-10.00 m (Figure 27).

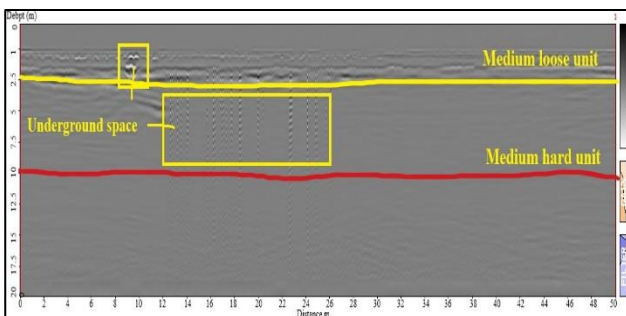


Figure 27. Radargram section of the ground of location 9

Scanning at the ground of location 9

GPR scans made in the second portico of the mosque revealed a gap of 2 m in diameter at a depth of 1 m between the depth of 1 m and 8.00-10.00 m (Figure 27).

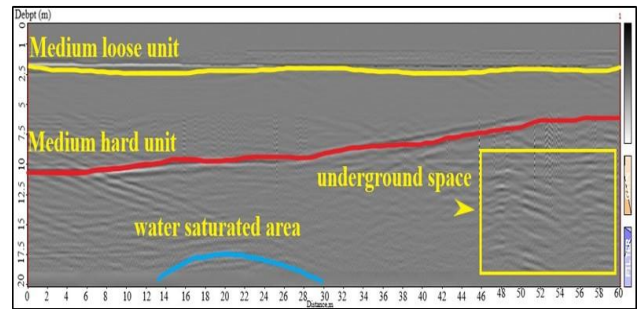


Figure 27. Radargram section of the ground of location 9

Scanning at the ground of location 10

In the georadar scans made in the courtyard of the Behram Pasha Mosque, a 90-m profile length and a research depth of 20.00 m were selected. It has been determined that there are a medium-loose unit up to 2.50 m, a medium-hard unit between 2.50-11.00 m, and three different levels where firmness increases. It has been determined in the radargram sections that there are two void structures and flooded areas on the courtyard floor after 18.00 m. It is thought that the parts that receive water originate from the fountain in the courtyard (Figure 28).

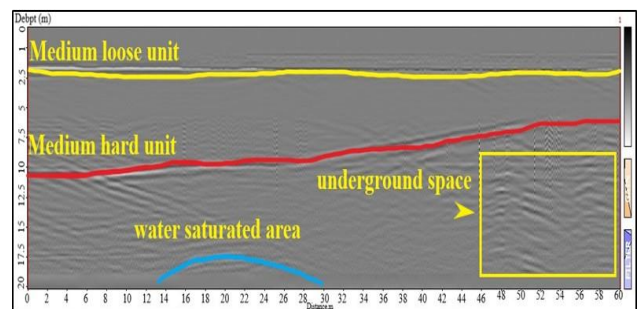


Figure 28. Radargram section of the ground of location 10

Behram Pasha Mosque GPR scans of walls

In the Behram Paşa Mosque, GPRscans were made on the walls in the harim (Figure 29 a and b). In the scans made on the walls, the profile dimensions were taken as variable and the depth of the survey was chosen as 4.00 m. In some of the walls in the harim region, gap deformations due to cracks and fractures were detected.

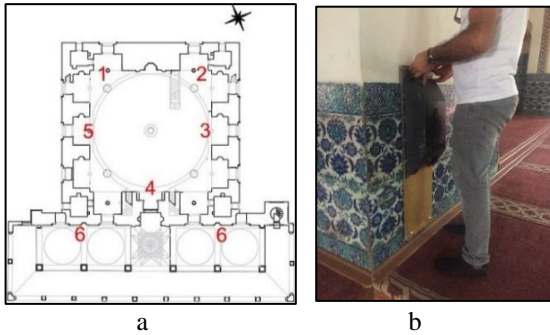


Figure 29. Locations and applications of GPR scans done on the mosque walls

Scanning at the wall of location 1

In the radargram sections obtained as a result of the scans made on the southeast walls of the harim and mihrab, no deformation was observed at the inner wall till a depth of 1.25 m. However, after a depth of 1.25 m, a corrosion structure caused by water leaks was determined (Figure 30).

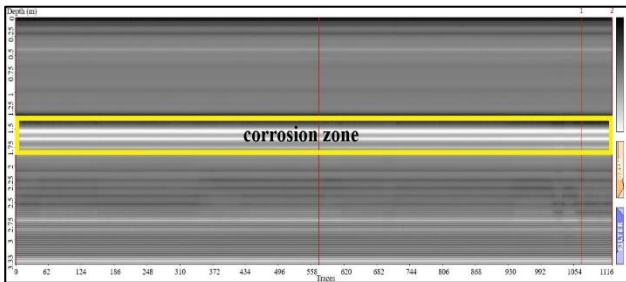


Figure 30. Radargram section of the wall of location 1

Scanning at the wall of location 2

According to the radargram sections obtained as a result of the scans made on the southwest wall of the harim, it was determined that there were deformations due to corrosion after 1.50 m from the inner wall to the outside (Figure 31).

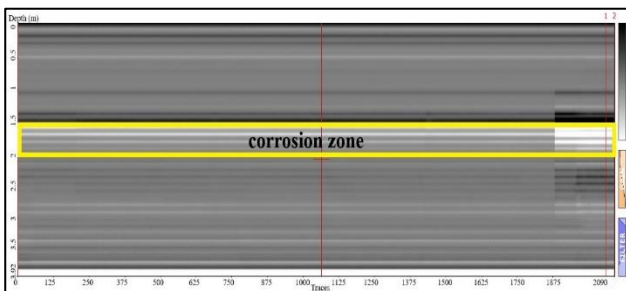


Figure 31. Radargram section of the wall of location 2

Scanning at the wall of location 3

In the radargram sections obtained after scanning on the wall in the northwest direction of the harim, it was determined that there were cracks and fracture deformations after 1.00 m of the wall. There are also cracks in the lintels on the outer parts of these walls (Figure 32).

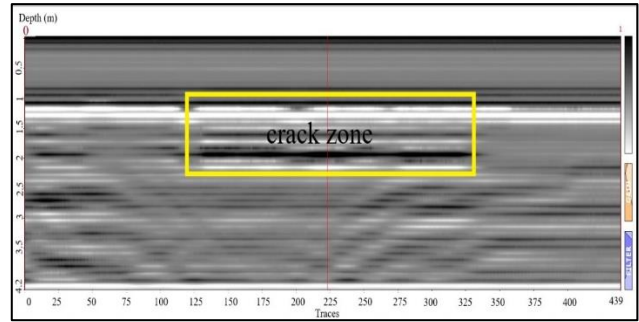


Figure 32. Radargram section of the wall of location 3

Scanning at the wall of location 4

Numerous cracks and fracture deformations were detected after 2.50 m in the radargram section obtained as a result of the scans made on the entrance door of the harim and the northeastern wall. It is thought that these deformations will increase the structural problems in the mosque over time (Figure 33).

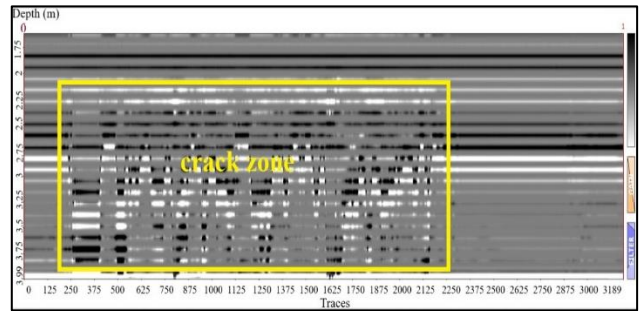


Figure 33. Radargram section of the wall of location 4

Scanning at the wall of location 5

It has been determined that there is 1 crack deformation at a depth of 2.00 m in the radargram sections obtained as a result of the scans made on the eastern wall of the harim (Figure 34).

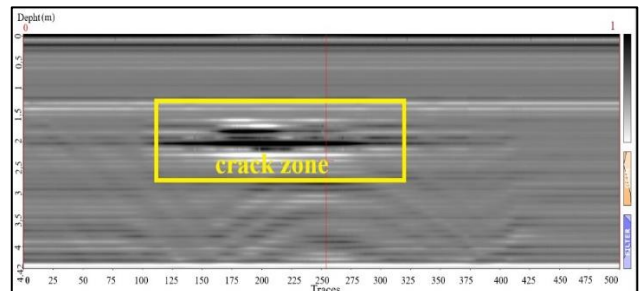


Figure 34. Radargram section of the wall of location 5

Scanning at the wall of location 6

GPR scans were made on the northern wall including the entrance to the harim. In the radargram sections, broken deformations were detected on the walls in both directions of the entrance door with a size of 7 cm at 2-m depth (Figure 35).

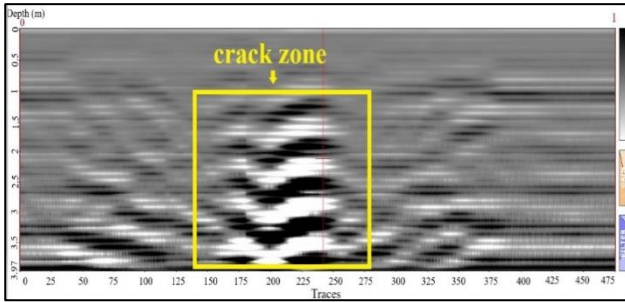


Figure 35. Radargram section of the wall of location 6

Conclusions and recommendations

Diyarbakır Behram Paşa Mosque is one of the historical mosques in the Suriçi Region, which has an important place in terms of its original architecture and construction technique. Behram Pasha Mosque, which is different from the classical Diyarbakır mosques with its technique and style, is actively used today. Original stonework, two rows of the portico with domed and wooden ceilings, and alternating knitted columns and façades have an important place in our architectural heritage.

In order to determine the structural problems of Behram Pasha Mosque, observational determinations were made in the field study. GPR scans were made with the thought that the vertical cracks in the lintels may occur due to the ground, and it was determined that there were discharges on the ground where the crack damage was located. In the structural problems of the mosque, cracks, fractures, weathering, material loss damages due to natural conditions were examined and GPR scans in these areas were increased.

Although restoration work was carried out in the mosque in the past, the GPR method was not used on the floors and walls in the previous studies. For this reason, it is the first time, this type of study was applied to this mosque. In this study, after the observational determination of the structural problems of the mosque, the GPR method was used to determine the damage levels of the existing problems on the ground and load-bearing walls. Scans that do not harm the structure were made with the GPR method. The deformations detected in the radargram sections obtained after the scans were marked, and the status and levels of the structural problems in the mosque were determined.

According to the results obtained from the scans;

- It has been determined that there are generally two different soil groups in the ground: medium-loose units up to 2.50 m and medium-hard units between 2.50-10.00 m. In the surveys made in the courtyard, the floor group was divided into three groups.
- During the scans made in the harim, deformations in the form of collapse and stack changes were detected on the floor between the entrance and the mihrab.

- It was detected that there are areas with water leakage in the northern façade of the harim and the northeastern part of the portico.
- In the scans made on the ground of the region, which is the second portico, it was observed that there were partial discharges and collapses.
- It was shown in GPR sections that there are areas exposed to water on the ground of the courtyard and its environment (the grounds at locations 6 and 7)
- It is thought that the discharges and collapses on the ground are responsible for the formation of structural problems in the mosque.
- It was determined that the smallest of the fractures at the walls was 12 cm and the largest was 40 cm.
- Corroded structure areas have been detected in the areas with water leaks on the walls. It was observed that there was contamination on the façade walls of the mosque, material loss in the columns, and partial axis shifts.

It was recommended in Behram Pasha Mosque, which is among the important mosques of the city:

- The preparation of comprehensive survey and restoration projects in their current form will facilitate the restoration works in the mosque.
- In light of the findings and data obtained from the ground surveys, examination pits should be opened in several places in the mosque and the physical condition of the ground should be determined. The physical determination of the deformations detected in the ground by GPR scans by opening the research pits will contribute to the improvement and strengthening applications.
- Reinforcement projects should be prepared in areas where are collapse deformations on the ground and appropriate solutions should be produced.
- The mosque should be restored and the damaged materials should be completed in accordance with the original to eliminate the deformations detected on the mosque walls and the existing damages on the façade.
- Mosque domes should be replaced with new ones due to corrosion of the existing tension rods in order to prevent the opening of the arches.

As a result of this study, structural problems were observed in the Behram Paşa Mosque and the study was enriched with GPR scans, which is one of the non-destructive methods [16] [17]. With the thought that the study will be a viable current example for all historical buildings in the city, the surveys and determinations were carried out sensitively and the study was completed.

References

- [1] O. C. Tuncer, “*Diyarbakır Camileri*” Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Yayınları Diyarbakır, 1996. pp.145.
- [2] M. Top, Z. Erdal, “Diyarbakır’daki Osmanlı Dönemi Cami ve Mescitleri,” *Diyarbakır Mimarisi*, İ. Yıldız, Ed. Diyarbakır: Diyarbakır Valiliği Kültür ve Sanat Yayınları pp. 257– 264, 2011,
- [3] M. Sözen, “*Diyarbakır’da Türk Mimarisi*”. İstanbul, pp. 65, 68,260, 1971.
- [4] A. P. Annan, . “Electromagnetic principles of ground penetrating radar” theory and applications, Elseiver. pp. 1-3-40. 2009.
- [5] J.L. Davis,, and A.P. Annan,, “Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy”. *Geophysical Prospecting*, (37), pp.531-551. 1989.
- [6] Daniels, D. J., “Ground Penetrating Radar 2nd Edition, published by the Iee Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series”, London, United Kingdom. 2004.
- [7] B.B. Demirci, “Yer Radarı (GPR) Jeofizik Yöntemi ve Kullanıldığı Alanlar” *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni* (14) pp.56. 2012.
- [8] K.J., Sandmeier, “*Reflexw 4.2 Manuel Book*”. Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany, 2003
- [9]A. Altun, “Behram Paşa Camii Diyarbakır’da XVI. Yüzyıla ait Cami”. *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi* (5), pp.356- 357.1992
- [10] A. Kuran, “Mimar Sinan”, *Hürriyet Vakfı Yayınları*, İstanbul.1986.
- [11] Vakıflar Genel Müdürlüğü (VGM) Arşivi, “Vakıflar Genel Müdürlüğü,” Diyarbakır, 2020.
- [12] L.B. Conyers, “Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves.” *Historical Archaeology*, (40), 3, pp. 64-73. 2006
- [13] Ö. Akın, S. Koşaroğlu, Ö. Bektaş, “Toprakların Yapı Üzerine Etkilerinin Microtremor ve GPR Yöntemleriyle İncelenmesi: Sivas Örneği 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [14] A.E. Anaran, “*Behram Paşa Cami Zemin ve duvar Bazlı Jeofizik Georadar (GPR) Yayınlanmamış Etüt Raporu*”, Diyarbakır, 2020.
- [15] B. B. Kurt, S. Kadioğlu, E. Ekincioğlu, “Yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özellikleri ile belirlenmesi”. *Yer bilimleri*, 30 (1), pp. 45–57 *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 2009.
- [16] N. Işık, F.M. Halifeoğlu “Tarihi Yapılardaki Yapısal Sorunların GPR (Georadar) Yöntemiyle Belirlenmesi: Diyarbakır Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami ve İskender Paşa Cami Örneği” *Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi*. pp. 427-439. Ankara. Mayıs 2021.
- [17] N. Işık, F.M. Halifeoğlu, S. İpek, “Nondestructive Testing Techniques To Evaluate The Structural Damage of Historical City Walls” *Construction and Building Materials*. (253), 119228. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119228>. 2020.
- URL 1.
Phthon-3 GPR. (Acces on: 25. 06. 2021).
Radar Systems Inc. Products.
<http://www.radsys.lv/en/products-soft/products/prod/6>
- URL 2
[http:// www.google.earth.com](http://www.google.earth.com).(Acces on: 25.06.2021)



Settlement Analysis of Geosynthetics Reinforced Embankments

Mohammad Salem NOORI^{1,*}, Kaveh DEGHANIAN²

¹ Istanbul Aydin University, Civil Engineering Department, salem.noori06@gmail.com, Orcid No: 0000-0003-1729-4415

² Istanbul Aydin University, Civil Engineering Department, kavehdeghanian@aydin.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-6372-4984

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 March 2021
Received in revised form 7 July 2021
Accepted 7 July 2021
Available online 28 September 2021

Keywords:

Geogrid, Geotextile, PLAXIS,
Settlement, Embankment

Doi: 10.24012/dumf.1002256

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Geosynthetics have been used in many construction and environmental projects in recent years, and the use of geosynthetic products as an effective element is increasing. These materials, as reinforcement, can solve the problems of building heavy structures and roads on weak soils without the need for excavation or filling, foundation, and sub-foundation operations. In this study, using different number and type of geosynthetic materials with two types of soil profiles in different layers of these soils, settlement of these soil layers are investigated. The road superstructures consist of three layers. Different geosynthetic are modeled with the finite element program, PLAXIS, to examine the modeling results. By application of Geogrids as different layers of the road, the amount of settlement decreases significantly. It can be seen that the most reduction occurs in application of three geogrids in soil profile though the total displacement decreases by increasing the number of geogrids. On the other hand, it can be concluded that application of geotextiles does not affect the settlement regardless of the layer numbers. Moreover, it can be concluded that the order of soil layers does not have any significant effect on the settlement rate.

Introduction

Due to critical problems of soft soils such as low bearing capacity and high settlement, there are different methods of strengthening the soils for soft soils which include mechanical and chemical improvement of soils. These methods generally increase the resistance and load-carrying capacity. This reduces the potential for soil swelling and shrinkage. On the other hand, natural fibers have been used for a long time to overcome the weakness of soils against tensile stress, and today, with the development of various sciences, polymeric materials such as geosynthetics are used. Geogrid and geotextile lead to an increase in their use in ground structures, increase in bearing capacity, and decrease in the volume of ground treatments, rapid application, and compatibility with the natural environment [1]. By increase in the tensile strength of the geotextile reinforcement, the safety factor increases [2]. Since displacement does not have a significant effect on increasing the tensile strength of the geotextile, this parameter has been neglected in determining the optimum tensile strength of the geotextile [3]. Several authors have investigated the effect of geosynthetics on soil layers. Using the case of two layers of geogrids, Bayram concluded that the amount of settlement in the thinner section was reduced by 4.01 mm. Although the filling thickness was decreased by 42.5 cm, it was observed that the amount of settlement

decreased [4]. In another study, use of pavement geogrids of flexible roads and the output results with the PLAXIS 2D program showed the beneficial effects of the axial stiffness of the geogrids in the base layer and the interfacial strength of materials of different thicknesses on the vertical surface deformation. Vertical surface deformation did not decrease much when using a geogrid [5]. Studies on the slope reinforced with geosynthetic material depicted that reinforced slope is safer and gave better settlement and shear stress results [6]. The desired improvement has not been achieved in the single geosynthetic reinforced state under the foundation. A relatively more load-sitting behavior was exhibited in models with multiple reinforcements (N = 2 and 3) [7]. Unlike the properties of geotextiles, environmental factors (the environmental pressure at which the experiments are conducted) can affect test results, especially at normal pressures, the effect of other factors is reduced [8]. Later on, it was shown that Geogrid increases the stability of the road and extends the life of the road and offers economical solutions in terms of cost. On the other hand, the decrease in the filling thickness shortens the construction period [9]. It was shown that undrained shear strength increases when geotextiles are used [10]. Moreover, Geosynthetics prevent the separation of soil layers and provide soil drainage. It provides long and short-term stability in the use of geosynthetics in fill foundations, limits different settlements, and can prevent

slumping [11]. It was also proven that Geogrids, first of all, provide the compression of the foundation layers and then they increase the strength [12]. The use of geogrids applied in the upgrading process has provided economical, fast, stable and useful, and functional solutions [13].

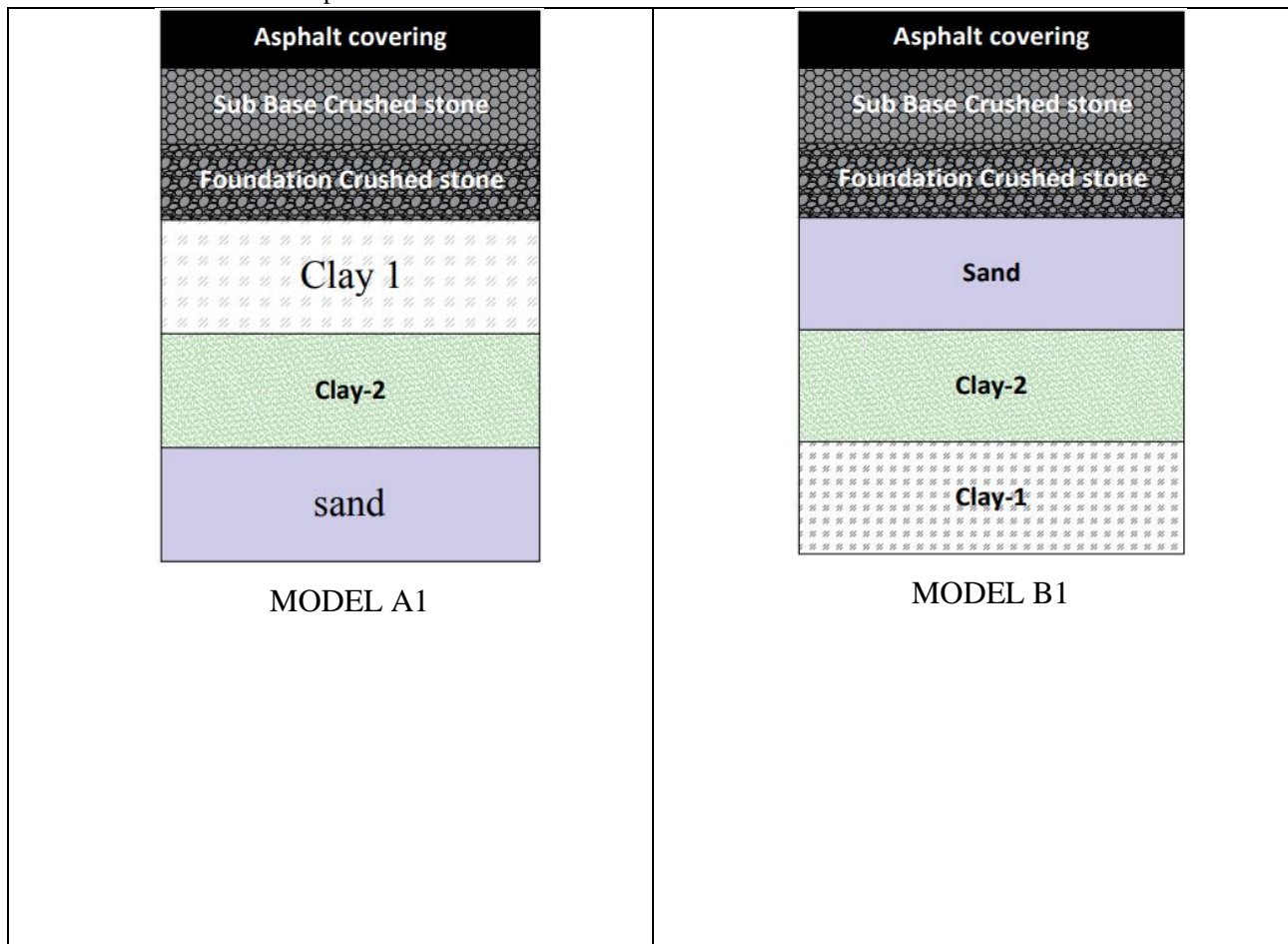
In the above mentioned studies, limited number of layers were investigated. Moreover the effect of soil types and the impact of layer orders in settlement has not been investigated carefully. Furthermore, the impact of the number of the geosynthetic layers on the settlement of soft soils is missing. This study aims to highlight these shortcomings.

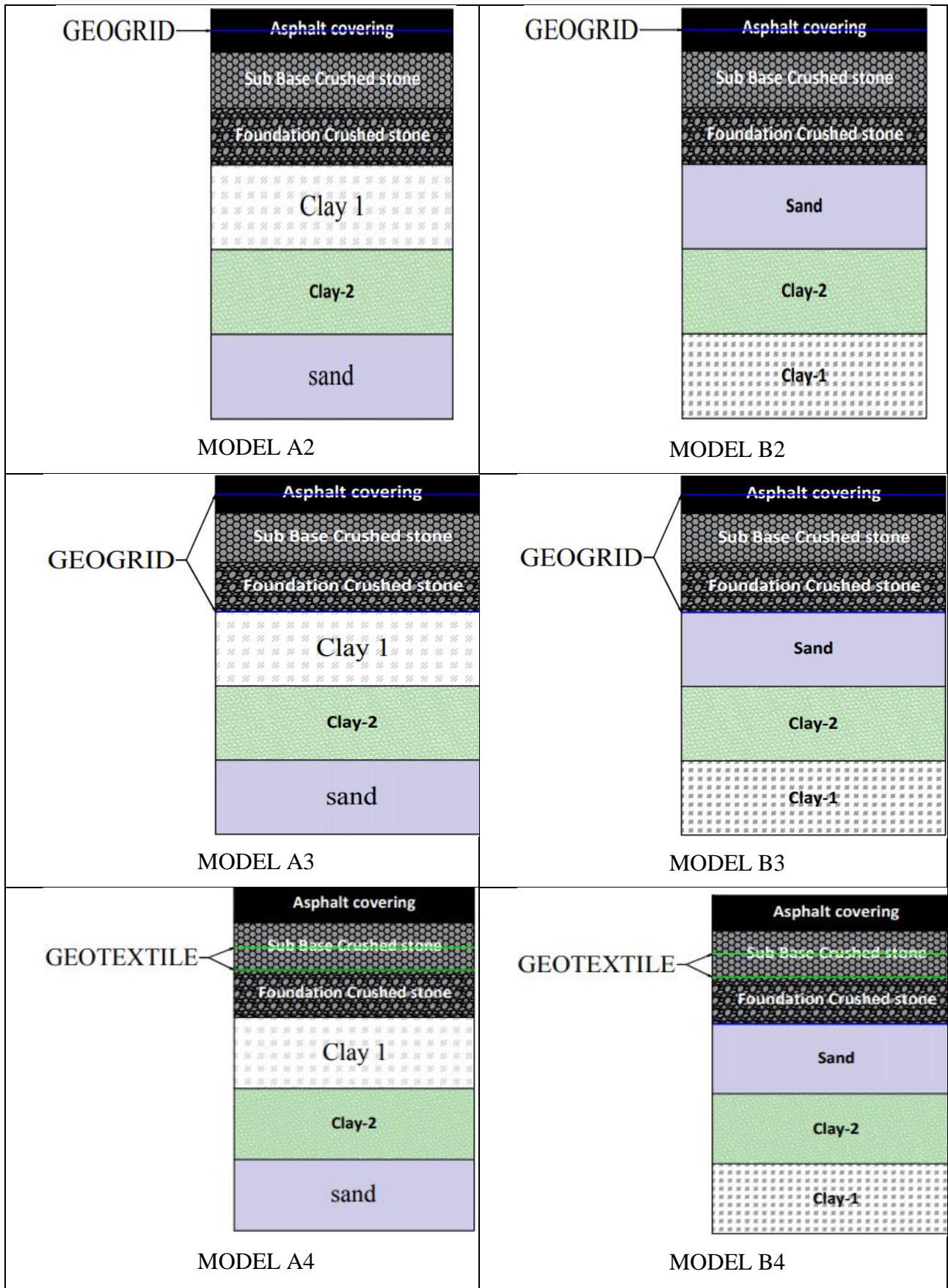
Materials and method

Material models

In this study, different soil profiles and geosynthetic materials have been studied. With a generally uniform cross-section, loading scheme, and a large extent in the z-direction, the plane strain model is suitable for implementation. Normal stresses are fully considered in the z-direction, but displacements and strains are assumed to be zero. A 15-node mesh is considered in this study. The difference between soil profiles depends on how accurately the soil has to be stressed in its mechanical behavior. The design for each model defines the relationship between stress and strain in the material. In the models, different layers with two different soil types are used as asphalt, foundation, sub-base, and ground sub-base. Using different geosynthetic materials as shown in Figure 1, the settlements of this different soil are compared. A total of 14 models

were formed on these two soils and analyzed with the PLAXIS program. The road width is 7.30 and a two lane road with a shoulder width of 1m for each lane has been chosen [14, 15]. Pavement slope (2-3%) and shoulder slope (2-3%) are selected [15]. These models were named as model A1 (with no geosynthetics, two clay liners and one sand), model B1 (no geosynthetics used, sand layer under the foundation), model A2 (single layer geogrid in the middle of asphalt), model B2 (single layer geogrid in the middle of asphalt), model A3 (middle of asphalt, sand and two layers of geogrid used between subbase), model B3 (middle of asphalt, two layers of geogrid between sand and subbase), model A4 (middle of foundation, two layers of geotextile between foundation and subbase), model B4 (middle of foundation, foundation and two layers of geotextiles are used between the sub-base), model A5 (single layer geogrid is used in the middle of the foundation), model B5 (single layer geogrid is used in the middle of the foundation), A6 (mid-asphalt, between asphalt and foundation, between foundation and sub-base, sub-base and Geogrid was used in four layers between clay), B6 (mid-asphalt, between asphalt and foundation, between foundation and sub-base, between subbase and sand), A7 (asphalt and foundation, a Geogrid and geotextile are used in two layers between the foundation and clay in two layers, the middle of the foundation, the two layers between the foundation and the subbase), B7 (between the asphalt and the foundation, the subbase and the sand, two layers of geogrid and the middle of the foundation, two layers of geotextile between the foundation and the subbase are used).





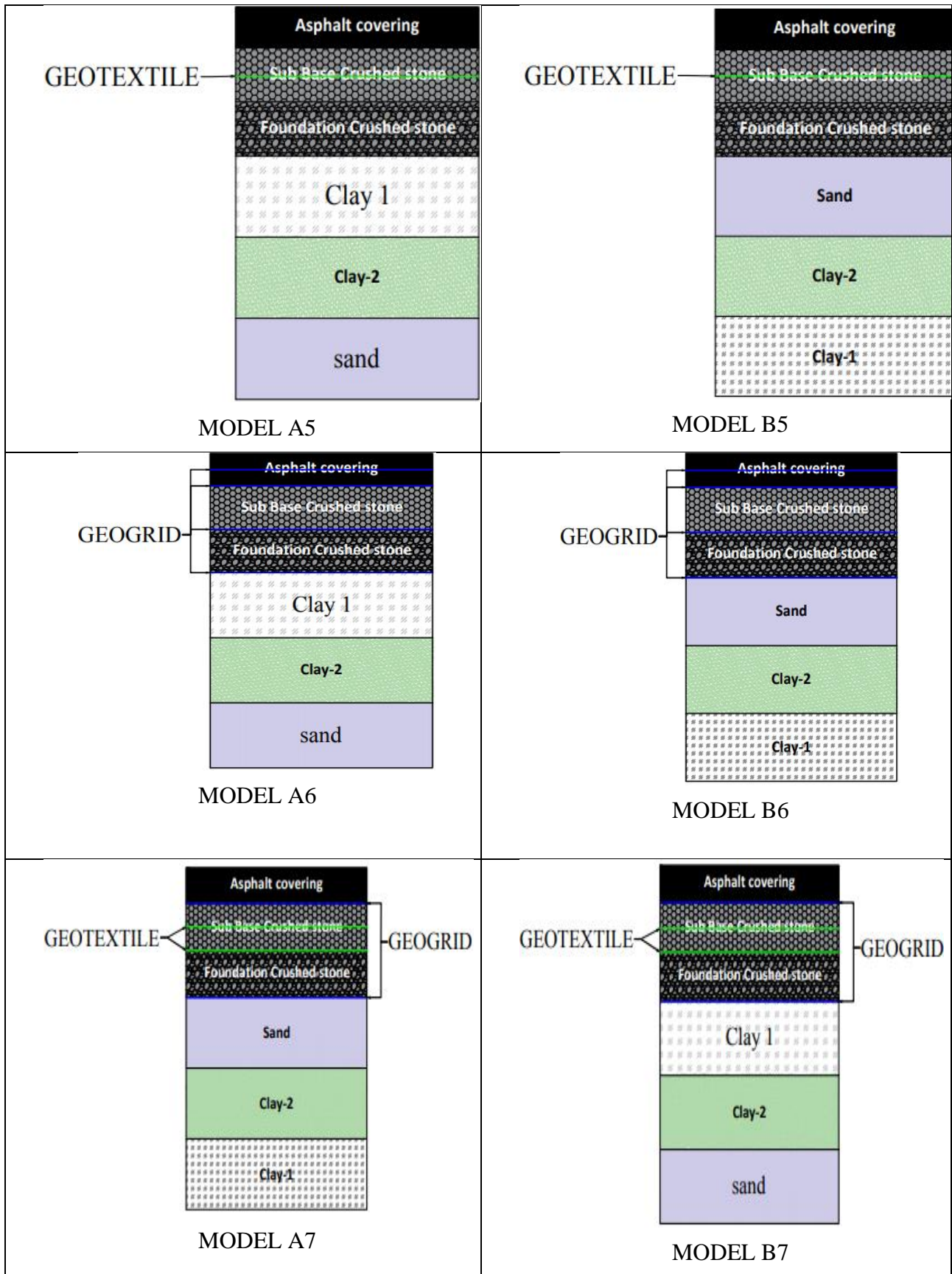


Figure 1. Cross section of two types of soil (A, B)

(Linear isotropic elasticity) model

The Linear Elastic soil model is the simplest stress-strain relationship found in PLAXIS. This model has only two input parameters, Young's modulus, E, and Poisson ratio, ν . Such a model is not suitable for explaining the complex behavior of the soil but is suitable for modeling larger structural members and bedrock layers.

Mohr-Coulomb model

Mohr-Coulomb is an elastic-plastic model containing five input parameters, E and ν for soil elastic, ϕ and c for soil plasticity, and angle. It is recommended to use Mohr-Coulomb for the evaluation of initial deformations. This is because other advanced models need more ground data than

Mohr-Coulomb. Mohr-Coulomb model has been well able to model soil behavior [16] and the full plastic floor behavior is done with this model.

Features of Geosynthetics

Geogrids are thin structures that have normal stiffness but no bending stiffness. Geogrids can only handle tensile forces and do not compress. These objects are often used to model ground reinforcements. Geogrids are modeled using "geogrid" elements that have only one (axial) degree of freedom at each node and cannot handle compression forces. The material and geometric properties used in modeling the geogrid are given in Table 1.

Table 1. Geogrid and geotextile properties

Parameter Name	Symbol	Unit	Value	Reference
Geogrid	EA	kN/m	1×10^5	[17]
Geotextile	EA	kN/m	10×10^5	[5]

Geogrid and Geotextile Layout and Functions in Road Coverings

Geogrid and geotextile are used from geosynthetic materials. These materials are as shown in figure 2 for road pavements [24].

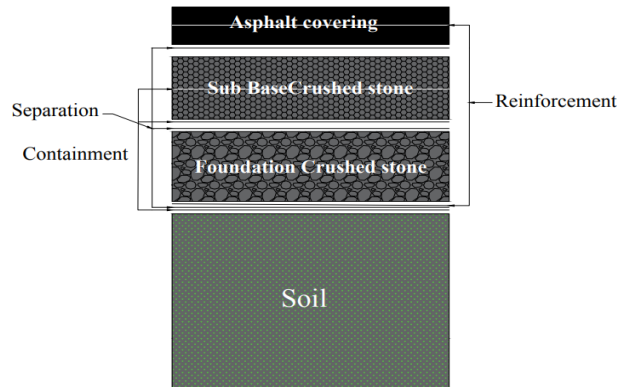


Figure 2. The purpose of the distribution of geosynthetic materials on the road [24]

These are on different soils, different layers of soils with different numbers of different materials were used in Figure 2 and examined with the PLAXIS program.

Loading Areas and Quantity

In the loading section, a vehicle weighing 29000 kg has been selected which corresponds to 6 tire loads. In this study, each tire transfers a load of 246.2 kN/ m² to the ground [18].

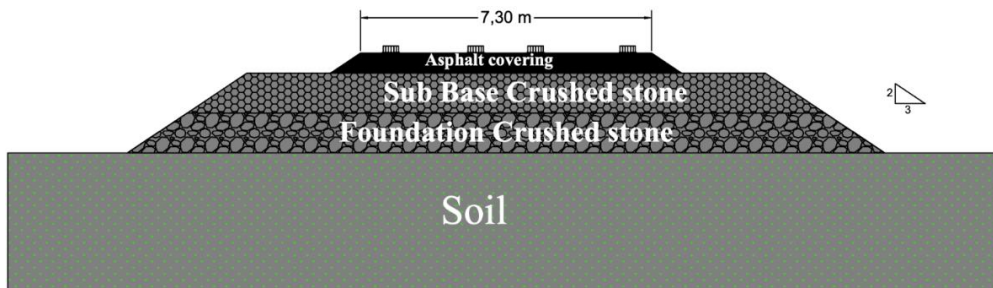


Figure 3. Width of the road, and loading areas

Soil Properties Used in Plaxis

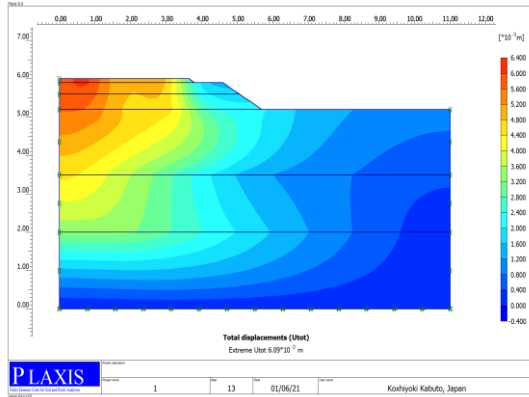
Mohr-coulomb model is accepted as a first order approximation of real soil behavior. This elastic- perfect plastic model requires five basic input parameters: Young's modulus (E), Poisson ratio (ν), cohesion (c), friction angle (ϕ) and dilatation angle (ψ). In table1, all parameters (including ground, sub-base, foundation , and asphalt properties) used in modeling are given.

Table 2. soil, subbase, foundation and asphalt Parameter properties

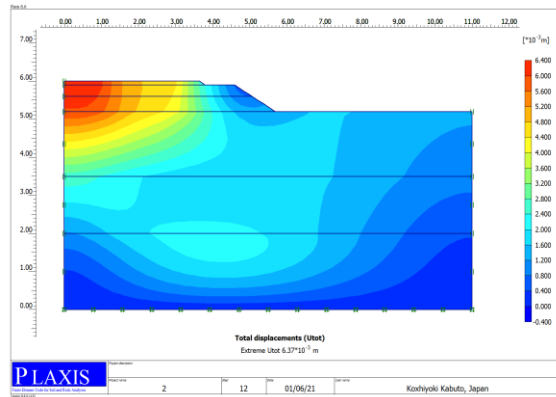
Parameter	Symbol	Asphalt coering	Sub Base Crushed stone	Foundation Crushed stone	Sand	Clay-1	Clay-2
Material model		LE	MC	MC	MC	MC	MC
Behavior type		No drain	Drained	Drained	Drained	No drain	No drain
Dry unit weight [kN/m ³]	γ_{unsat}	23.5	20	22	18	19	20
Wet unit volume weight [kN/m ³]	γ_{sat}	-	22	24	21	20	22
Permeability in X direction [m/day]	k_x	-	1.000	1.000	5×10^{-3}	0	0
Permeability in Y direction [m/day]	k_y	-	1.000	1.000	5×10^{-3}	0	0
Young's modulus [kN/m ²]	E_{50}	120×10^5	100×10^3	120×10^3	25000	1.4×10^4	7.5×10^4
Poisson ratio [-]	ν	0.3	0.35	0.35	0.35	0.2	0.2
Cohesion [kN/m ²]	C	-	30	20	0.025	10	20
Angle of internal friction [°]	ϕ	-	43	44	40	25	25
Angle of Dilatation [°]	Ψ	-	13	14	10	0	0
Reference	-	[22]	[19]	[20]	[23]	[21]	[21]

Discussion and conclusions

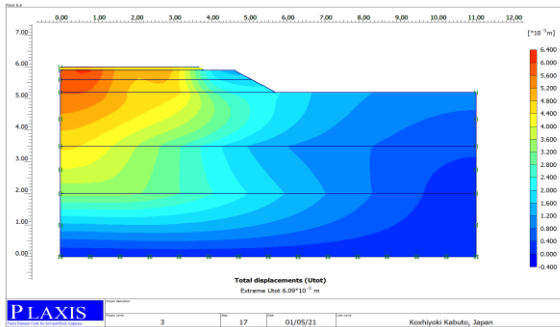
In this study, the beneficial effects of using different layered geosynthetics are investigated. Modeling was analyzed with the PLAXIS program used in the study. The output results show the beneficial effects of the axial stiffness of geosynthetics in the base layer and the interface strength of materials with a different base layer thickness on settlement, as it is shown in the figures.



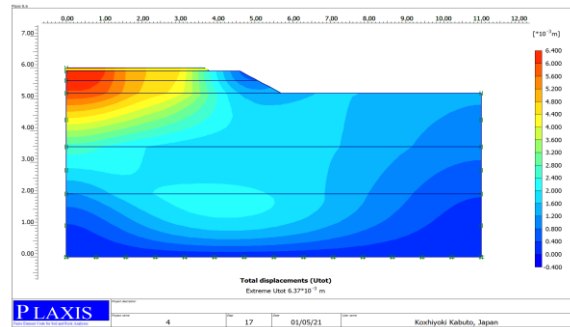
Model A1



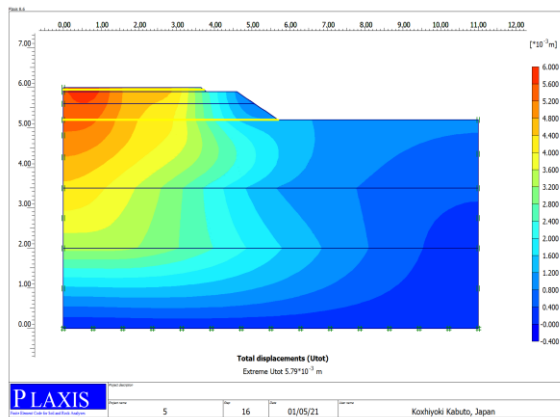
Model B1



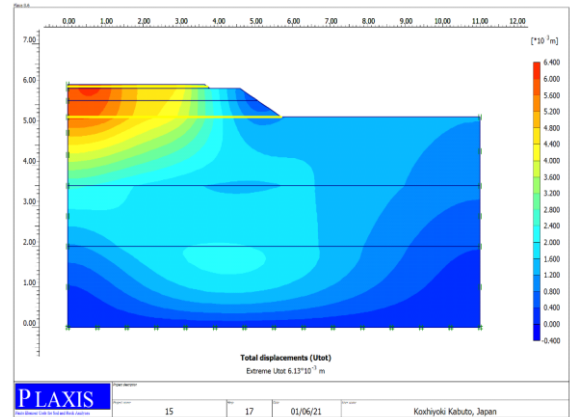
Model A2



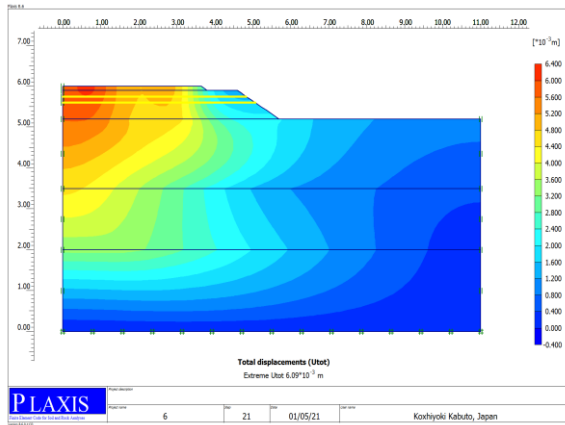
Model B2



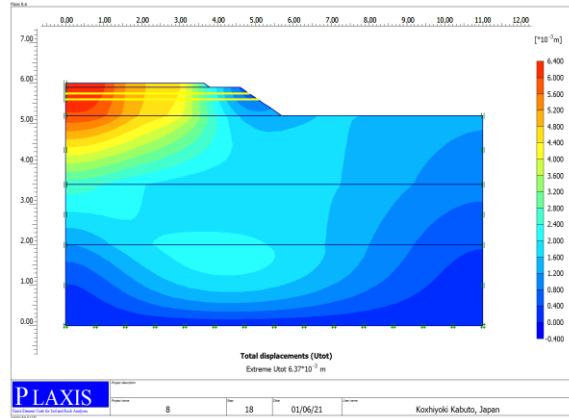
Model A3



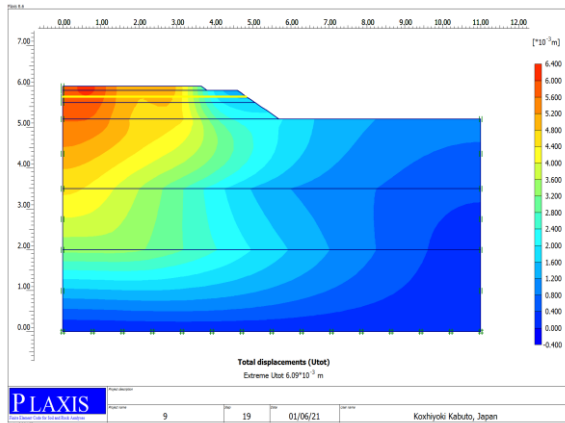
Model B3



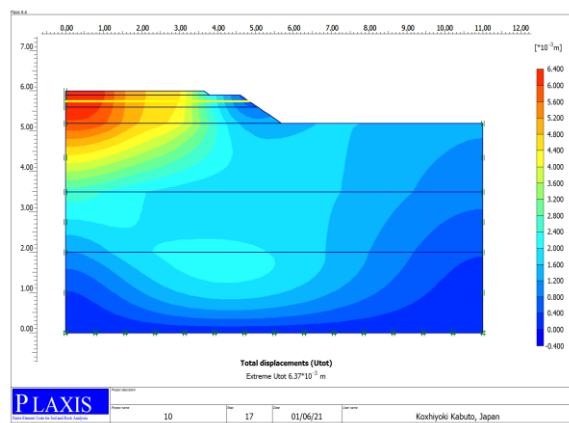
Model A4



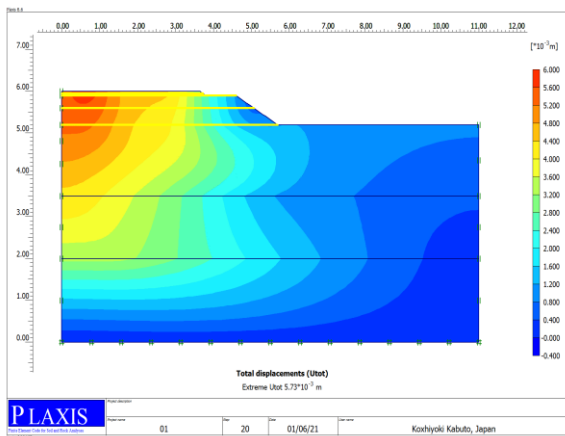
Model B4



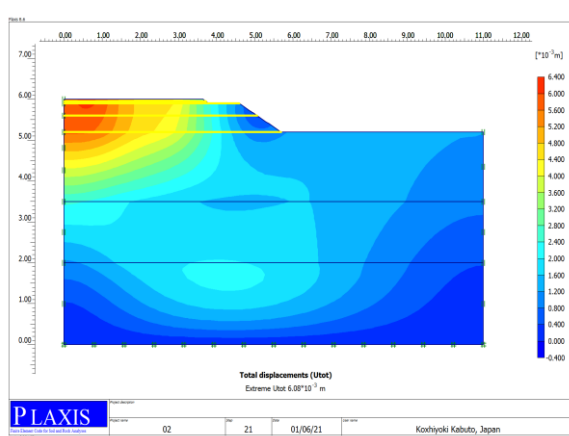
Model A5



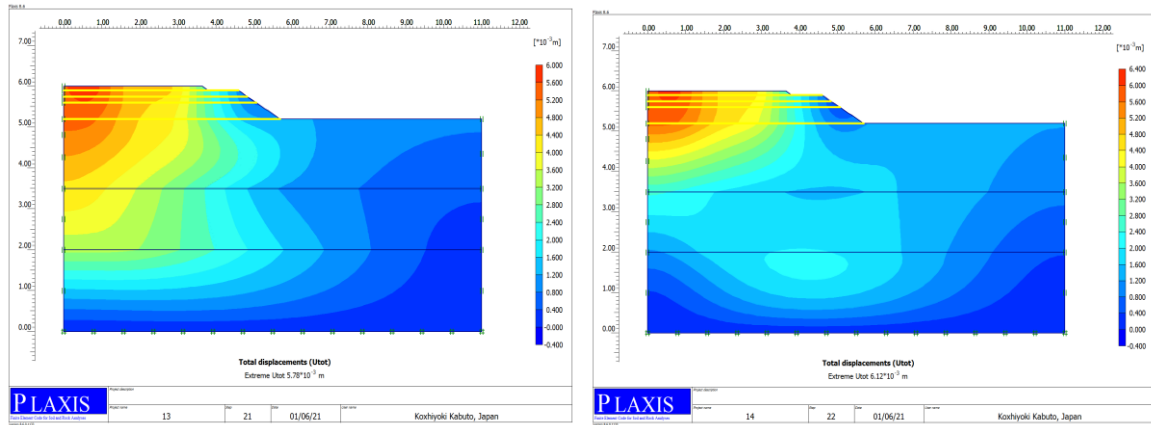
Model B5



Model A6



Model B6



Model A7

Model B7

Figure 4. Results of sitting in PLAXIS

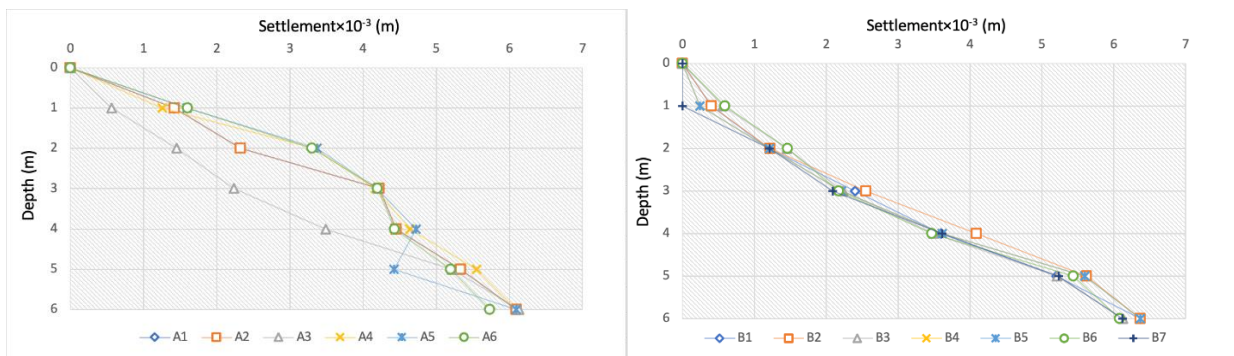


Figure 5. Settlement of different profiles with respect to depth

Results were determined for various parameters different for each model. These models are modeled without geogrid, using one or more layer geogrid, one or more layer geotextiles and these two products together in different layers. The two tires applied in these models transfer the a load of each tire to 246.2 kN/m² of force. The model (A1) and model (B1) are shown in Figure 4 (A1, B1), which shows the total settlement results obtained without using geosynthetic materials. The settlement amount for model A1 is 6.09×10⁻³m and for model 2 the total displacement is 6.37×10⁻³ m. By comparison of these two models, it can be revealed that the order of sand clay liners have insignificant effect on the settlement of the embankment. Model (A2) and model (B2) are formed applying a single layer geogrid depicted in Figure 4. This means that two tires applied in the same models transfer the load of each tire 246.2 kN /m². In Figure 4, the seating amount for model A2 is 6.09×10⁻³m and for model B2 the total seating is 6.37×10⁻³m. Comparison of A1.B1 with A2 and B2 shows that in case of using a single layer of geogrid, the settlement does not change. In model (A3) and (B3) models, the amount of double layer geogrid settlement is formed as in Figure 4. In this way, the settlement amount appears to be a descent. In Figure 4, the settlement amount is calculated as 5.79×10⁻³ m for model A3 and 6.13×10⁻³ m for model B3. It can be concluded that if the two upper layers are clay, double layer is more effective than the sand as the upper layer. Model (A4) and (B4), double layer geotextile settlement amount was formed as in Figure 4. The amount of seating is calculated as 6.09×10⁻³ m for model A4 and 6.37×10⁻³ m for

model B4 which does not have any effect with regard to the original case (A1 and B1). In (A5) and (B5) models, the total displacement for single layer geotextile is formed as in Figure 4. The settlement amount for model A5 was calculated to be 6.09×10⁻³m and model B5 to 6.37×10⁻³ m. In (A6) and (B6) models, the amount of settlement in the four-layer geogrid situation was formed as in Figure 2. The settlement amount for Model A6 is 5.73×10⁻³m and for model (B6) the total displacement is calculated as 6.08×10⁻³ m. It is clear that increase in the number of geogrids has a effective impact in reduction of settlement though the rate of reduction decreases in application f four geogrid layers. For models (A7) and (B7), the total displacement for two-layer geogrid and two-layer geotextile is 5.78×10⁻³ m and for model (B7) the total displacement is 6.12×10⁻³ m.

Figure 5 (a) and (b) compares and summarizes the settlement rate at different layers of the soil at point x=0 using geogrids and geotextiles.

Modeling results

Considering the applied analysis, finite element software – PLAXIS- is capable of modeling the infrastructure of the paths appropriately. Analysis were performed using plane strain model. In plane strain, the strains out of plane (z-direction) are assumed as zero, therefore the depth of the model is set as zero. In these models, geosynthetics (geogrid and geotextile) are applied in different depths, different layers and different geosynthetic numbers according to the placement. Geosynthetic materials have been given a

suitable solution to strengthen the sub-base and foundation in clay and sandy soils. The results obtained when using geosynthetic material in the foundation and subbases of the roads are presented as follows:

At the moment of the load transferred by the two tires of the vehicle, the first layer of clay soil was found to have less settlement than the first layer of sandy layer.

After application of geosynthetics in different layers of the road, the safety count decreased significantly, M_{sf} decreased. There is no effect on the use of single layer geotextiles and geogrids in models.

In the use of two-layer geogrid in models, the total displacement shows a decrease of 4.926% compared to the use of no geosynthetics. Application of geosynthetics seems to have no effect on the settlement reduction in all the cases.

Application of four-layer geogrid decreases the settlement, though the rate of reduction is not as severe as the case of 3 geogrids decrease. It can be concluded that the formation and order of layers with different soil types (clay and sand) does not have any significant effect on the settlement rate.

Ethics committee approval and conflict of interest statement

There is no need to obtain permission from the ethics committee for the article prepared

There is no conflict of interest with any person / institution in the article prepared

Authors' Contributions

Mohammad Salem NOORI : Analysis, and interpretation of data, drafting of manuscript

Kaveh DEGHANIAN: Conceived the original idea, supervised the project, critical revision

References

- [1] Kazemian S., Huat B.K. (2010). Assessment of Stabilization Methods for Soft Soils by Admixtures, International Conference on Science and Social Research (Csr2010), December 5-7, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [2] Majedi P, Celik S, Akbulut S (2016). Finite Element Modelling of Road Embankments Designed As Reinforced Slope, 1st National Young Geotechnic Engineers Symposium, Erzurum, Turkey.
- [3] Paravita Sri Wulandaria, Daniel Tjandraa, Analysis of Geotextile Reinforced Road Embankment Using Plaxis 2D, the 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (Eacef-5).
- [4] Andaç Bayram, Reinforcement of Airport Runway Fillings Using Geosynthetic Materials, June 2006, Master of Sciences Thesis, ITU, Turkey.
- [5] S.K.Ahirwara , J.N. Mandala, Finite Element Analysis of Flexible Pavement With Geogrids, Transportation Geotechnics and Geoecology, Tgg 2017, 17-19 May 2017, Saint Petersburg, Russia.
- [6] Salahudeen, A. B. and Sadeeq, J. A, Numerical Modelling Of Soil Reinforcement Using Geogrids, February 23- 25, 2016, Fourth International Conference on Engineering LAUTECH Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- [7] Edinçliler, A. Murat Çalikoğlu, Improving the Seismic Performance of Low-Rise Structures Using Geosynthetics: Experimental Study, Seventh National Geosynthetics Conference 11–12 May 2017, Boğaziçi university, Istanbul.
- [8] Şahin Çağlar Tuna, Eyyüb Karakan, Selim Altun, Investigation of Mechanical Behaviors of Geotextile Reinforced Sand Soils, İMo Teknik Dergi, 2015 7015-7022, Yazı 430, Teknik Not.
- [9] Başak Çetin Karagül, Alignment of Road Fills Using Geogrid, January 2007, Master of Science thesis Istanbul Technical University.
- [10] Gizem Çakar, Laboratory Investigation of Behavior of Geotextile Reinforced Clays, Balıkesir, 2016 Master of Science thesis, Balıkesir Üniversitesi.
- [11] Mustafa Kocaer, Haziran 2011, Geosentetiklerin Karayolu Yapılarında Kullanımı: Türkiye Örnekleri, Master of Science thesis, Istanbul Technical University.
- [12] Heerten, Georg, and J. Klomp maker. Improving the bearing capacity of soils with geosynthetics." 8th International Geotechnical Conference, Bratislava, Slovakia. 2007.
- [13] Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı 11–12 Mayıs 2017, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [14] Francesca La Torre, Unifi, Italia (Avrupa Yol Yöneticileri Konferansı Yol Güvenliği Teknik Ekibinde (Cedr Tgrs) Anas Şirketini Temsilen), Haziran, 2018.
- [15] Mustafa Alptekin Yolda, Karayollarında Yol Sınıflandırması ve Tip Enkesitlerin İncelenmesi: Eminönü-Fatih Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2008, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [16] Georg Heerten Improvement of Soil Properties, Bratislava on June 4 – 5, 2007.
- [17] Plaxis Version 8 Tutorial Manual
- [18] <https://www.Makinsantrailer.Com.Tr/Kuvet-Tipi-Damper>
- [19] Hamdy Faheem Mohamed Hassan, 30 December 2014, 2d Plaxis Finite Element Modeling Of Asphalt-Concrete Pavement Reinforced With Geogrid, Article, Faculty of Eng., Minia University, Civil Engineering Department, Egypt
- [20] Mostafa Deep Hashem, Ahmed Mousa Abu-Baker, December 2013, Numerical Modeling Of Flexible Pavement Constructed on Expansive Soils, Civil Engineering Department Faculty of Engineering, Al-Minia University, Egypt.

- [21] A. Arda Bahadır, M. İnanç Onur, Derin Kazı Destek Sistemi Tasarımında Zemin Modeli Seçimi: Bir Vaka Analizi 7. GeoTeknik Sempozyumu 22-23-24 Kasım 2017, İstanbul.
- [22] Waqed H. Almohammed, Mohammed Y. Fattah, Sajjad E. Rasheed, 2018, Numerical Analysis Of The Effect Of Geocell Reinforcement Above Buried Pipes on Surface Settlement And Vertical Pressure, World Academy Of Science, Engineering and Technology International Journal of Geotechnical and Geological Engineering.
- [23] Bahatin Gündüz, December 2008. Analysis Of Settlements Of Test Embankments During 50 Years- A Comparison Between Field Measurements and Numerical Analysis, Master's Dissertation. Luni University.
- [24] Jorge G. Zornberg, Functions and applications of geosynthetics in roadways, Transportation Geotechnics and Geocology, TGG 2017, 17-19 May 2017, Saint Petersburg, Russia.