



OPEN  ACCESS

DUJE

Dicle University Journal of Engineering

ISSN 1309-8640

Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Baş Editör / Editor-in-Chief
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Alan Editörleri / Field Editors
Bilal GÜMÜŞ
Atilla Gencer DEVEÇİOĞLU
İdris BEDİRHANOĞLU
Mehmet Emin ÖNCÜ
Felat DURSUN
Muhammet Ali ARSERİM

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.

- Erkut Sayın (Fırat Üniversitesi)
Serhat Berat Efe (Bandırma 17 Eylül Üniversitesi)
Furkan Dinçer (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi)
Mehmet Nuri Almalı (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
Mahmut Fırat (İnönü Üniversitesi)
Sibel Kaygılı (Fırat Üniversitesi)
Gamze Tanik (ODTÜ)
Feyza Dinçer (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Asaf Varol (Maltepe Üniversitesi)
Songül Karakuş (Bitlis Eren Üniversitesi)
Aytuğ Boyacı (Milli Savunma Üniversitesi)
Önder Ayer (Trakya Üniversitesi)
Ümit Huner (Kırklareli Üniversitesi)
Kazım Yıldız (Marmara Üniversitesi)
Buket Doğan (Marmara Üniversitesi)
İbrahim Çiftçi (Karatekin Üniversitesi)
Yakut Turgut (Gazi Üniversitesi)
Niyazi Uğur Koçkal (Akdeniz Üniversitesi)
Mehmet Karataş (Fırat Üniversitesi)
Mehmet Uğur Toprak (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
Sunay Beyhan (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
Emrullah Acar (Batman Üniversitesi)
Ömer Türk (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Abdulkadir Albayrak (DU)
Senem Çetin Yılmaz (DU)
Mehmet Salih Keskin (DU)
Orhan Kavak (DU)
Mehmet Emin Öncü (DU)
Nizamettin Hamidi (DU)
Mustafa Ayhan (DU)
Cafer Budak (DU)
Abdulnasır Yıldız (DU)
Hüseyin Özmen (DU)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

Güç Sistemindeki Harmoniklerin Bilgisayar Destekli Modellenmesi (Araştırma Makalesi)
Computer Aided Modelling of Harmonics in the Power System (Research Article)
Sabir Rüstemli, Sinan Tekev **711**

Design And Control of Patient Bed For Prevention Pressure Ulcers in Long-Term Inpatients (Research Article)
Behçet Kocaman, Volkan Akgöl **719**

Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının CEC2020 test fonksiyonları ile karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)
Comparison of current metaheuristic optimization algorithms with CEC2020 test functions (Research Article)
Elif Varol Altay, Osman Altay **729**

Öznitelik seçme yöntemlerinin makine öğrenmesi tabanlı saldırı tespit sistemi performansına etkileri (Araştırma Makalesi)
Effects of features selection methods on machine learning based intrusion detection system performance (Research Article)
Sura Emanet, Güzde Karataş, Önder Demir **743**

Effect on model performance of regularization methods (Research Article)
Cafer Budak, Vasfiye Mençik, Mehmet Emin Asker **757**

EEG Verilerine Uygulanan Senkrosıkıştırma Yönteminin Migren Teşhisinde Kullanılması (Araştırma Makalesi)
The Use of Synchrosqueezing Method Applied to EEG Data in the Diagnosis of Migraine (Research Article)
İbrahim Dursun, Mehmet Akın **767**

Human posture prediction by deep learning (Research Article)
Hediye Nupelda Kanpak, M. Ali Arserim **775**

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Research on electrical strain gages and experimental stress analysis: Case study for a full wheatstone bridge (Research Article)
Gürkan İrsel **783**

Delik içi tornalamada kesici ucun ve delik işleme barasının delik işlemeye etkisi (Araştırma Makalesi)
Influence of insert and boring bar on boring in internal turning (Research Article)
Yasin Erkoçak, Yunus Kayır **793**

- Faz değiştiren malzemeli duvarlarda sıcaklık dağılımının nümerik analizi
(Araştırma Makalesi)
*Numerical analysis of temperature distribution in walls with phase change materials
(Research Article)*
Meral Özel, Fethi Ahmet Çakmak, Nesrin İlgin Beyazıt **803**

Maden Mühendisliği / Mining Engineering

- Miyosen yaşlı Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi'nin (Siirt, Güneydoğu Anadolu) bentik
foraminiferleri ve paleoortamsal yorum (Araştırma Makalesi)
*Benthic foraminifers and paleoenvironmental interpretation of the Miocene Eskigarzan
Limestone Member (Siirt, Southeast Anatolia) (Research Article)*
Derya Sinanoğlu **811**

- Hafif Blok Üretiminde Çanakkale Ayvacık Volkanik Tüfünün Agregata Olarak
Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)
*Investigation of the usability as an aggregate in the production of lightweight block of
Çanakkale-Ayvacic Volcanic Tuff (Research Article)*
Seyide Kılıçaltan, Uğur Demir **821**

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

- Tarihi yapılarda Tahribatsız Yöntemlerle Yapısal Sorunların Tespiti; Diyarbakır Hoca
Ahmet (Ayn Minare) Camide Georadar (GPR) Ölçümleri ve Değerlendirilmesi
(Araştırma Makalesi)
*Detection of structural problems in historical buildings with non-destructive methods;
Georadar (GPR) measurements and evaluation in Diyarbakir Hodja Ahmet (Ayn Minaret)
mosque (Research Article)*
Nursen Işık, Fatma Meral Halifeoğlu **829**

- Jaya algorithm for design optimization of planar steel frames (Research Article)*
İbrahim Behram Uğur, Sadık Özgür Değertekin **841**

- Canal Istanbul and Political Dispute on Turkish Straits (Research Article)*
Kader Benli, Ceyhun Özçelik **849**

- Islak ve kuru ortamlarda kullanılan zemin kaplamalarının güvenlik katsayılarının k-
ortalamlar ve karar ağacı yöntemleriyle değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi)
*Evaluation of the safety coefficients of floor coverings used in wet and dry environments
by k-means and decision tree methods (Research Article)*
Fatih Karataş, Ali Sarıışık, Gültekin Coşkun **865**

- Reuse of industrial metal wastes as partial replacement of aggregates in mortar
production (Research Article)*
Nihan Gülmez **875**

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.



Güç Sistemindeki Harmoniklerin Bilgisayar Destekli Modellenmesi

Computer Aided Modelling of Harmonics in the Power System

Sabir RÜSTEMLİ^{1*}, Sinan TEKEV²¹ Bitlis Eren University, Bitlis, Turkey, srustemli@beu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4957-1782² Bitlis Eren University, Bitlis, Turkey, sinantekev@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-4486-4383

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 22 Eylül 2021
Revizyon 27 Aralık 2021
Kabul 28 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Güç Sistemleri, Harmonikler,
Araharmonikler, Filtreleme

ÖZ

Teknolojinin gelişmesi ve Dünya nüfusunun sürekli olarak artmasından dolayı, kullanılan elektrik enerji miktarı da sürekli artmaktadır. Elektrik enerjisinin talebinde meydana gelen artış ile birlikte, daha güvenilir ve daha kaliteli enerjiye ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bu kavram elektrik mühendisliği alanında “güç kalitesi” başlığı ile yerini almıştır. Günümüzde sanayide kullanılan güç elektroniği elemanları, transformatörler, ark fırınları, konverterler vb. harmonik yayan elemanlar güç kalitesinin bozulmasına sebep olmuş ve sonuç olarak da harmoniklerden kurtulma yollarına bizi sevk etmiştir. Kaliteli elektrik enerjisinin sağlanabilmesi için enerjinin devamlılığı, gerilimin ve frekansın stabilitesi, güç faktörünün 1'e yakınlığı, faz gerilimleri dengesi ve gerilimdeki harmonik miktarlarının belli değerlerde kalması gibi bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan çalışmada, güç sistemindeki harmonik ve araharmoniklerin analizi yapılabilmesi için ve sistemdeki oluşan etkinin görülebilmesi amacı ile MATLAB / Simulink programında seri aktif güç filtresi, farklı nonlineer yüklerle karşı modüle edilip simülasyonu yapılmıştır. Sistemdeki harmonikler ve ara harmoniklerin yok edilmesinin ve filtrelemeye karşı vermiş oldukları tepkinin görülebilmesi için FFT analiz programı ile sonuçlar gösterilmiştir. Nonlineer yükleri olan güç sistemindeki harmonik ve araharmoniklerin filtrelemeden önce ve filtrelemeden sonraki oluşturduğu sonuçlar analiz edilmiş ve incelenmiştir. İnceleme sonucunda alınabilecek önlemler ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 September 2021
Received in revised form 27 December 2021
Accepted 28 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Power Systems, Harmonics,
Interharmonics, Filtering

ABSTRACT

Due to the development of technology and the continuous increase in the world population, the amount of electrical energy used is constantly increasing. With the increase in the demand for electrical energy, more reliable and higher quality energy has begun to be needed. This concept has taken its place in the field of electrical engineering with the title of “power quality”. Power electronics components used in industry today are transformers, arc furnaces, converters, etc. Elements emitting harmonics caused the deterioration of power quality and as a result, led us to ways to get rid of harmonics. In order to provide quality electrical energy, some criteria such as the continuity of the energy, the stability of the voltage and the frequency, the power factor close to 1, the balance of the phase voltages and the harmonic amounts in the voltage should be taken into consideration. In the study, in order to analyze the harmonics and interharmonics in the power system and to see the effect on the system, the serial active power filter was modulated and simulated against different nonlinear loads in the MATLAB / Simulink program. In order to see the elimination of harmonics and interharmonics in the system and their response to filtering, the results are shown with the FFT analysis program. The results of harmonics and interharmonics in the power system with nonlinear loads before and after filtering have been analyzed and examined. As a result of the review, suggestions were made regarding the precautions that can be taken.

Doi: 10.24012/dumf.1051328

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında akım ve gerilim büyüklüklerinin sinüs dalgası biçiminde olması gerekiyor. Fakat bu her zaman gerçekleşmeyebilir. Enerji sistemlerinde manyetik ve elektrik devre nonlineerliği harmoniklere neden olmaktadır. Harmonikler, üretilen enerjinin kalitesinde önemli bir etkidir. Akım ve gerilim dalga biçiminin sinüs dalga biçiminden uzaklaşması şeklinde tanımlanabilecek olan harmonikler, nonlineer elemana sinüzoidal bir kaynağın uygulanması yoluyla ya da nonsinüzoidal bir kaynaktan beslenen lineer veya nonlineer elemanlar tarafından oluşturulur [1].

Rüstemli vd. [2] Harmonikleri azaltmanın veya yok etmenin en önemli ve faydalı yöntemi harmonik filtreler kullanmaktır. Çalışmalarında Türkiye'nin doğusunda yer alan Van şehrinde bulunan iki farklı fabrikada, Zera MT310'un güç analizörü yardımıyla ölçümleri gerçekleştirilen (harmonikler, anlık elektriksel değerler, akım ve gerilim dalga şekilleri) gibi çeşitli parametrelerin farklı tarihlerde olmak üzere detaylı bir incelemesi yapılmıştır. Rüstemli vd. [3] Pasif filtre sisteminin yapısı ve uygulama şekilleri hakkında bilgiler verilmiştir. Enerjide harmoniklerin filtrelemesinde kullanılan (endüktans bağlı kompanzasyon sistemi) sistemleri verilmiştir. Dağıtım sisteminin çeşitli noktalarında harmonik analizörü Simplorer Simulation Center 6.0 (SSC 6.0) programı ile ölçüm yapılmıştır. Enerji sisteminin güç elektroniği uygulamalarında başarılı sonuçları elde edilmiştir. Rüstemli vd. [4] ZERA MT 310 sinyal analizörü kullanılarak güç kayıplarındaki parametreleri (gerilim dalga şekilleri, harmonikler) tespit edilmiştir. Güçteki bu istenmeyen kayıpların sebeplerini araştırılmıştır. Simplorer 6.0 program ile seri aktif filtrenin modellenmesi yapılarak incelenmiştir.

Şahin [5] Harmonik kaynaklar, harmoniklerin güç sistemlerindeki etkileri ve harmoniklerin süzülmesine ilişkin bilgi vermiştir. Harmonik analizi için geliştirilmiş olan algoritma ve akış diyagramı ile kullanılan yazılım açıklanmıştır. Şahin [6] çalışmasında harmoniklerin yeraltı güç kabloları üzerine etkilerinin tespit edilmesi ve harmonik etkilerinin düşürülmesi adına önerilerde bulunmuştur. Bu noktada bir OG sistemde harmonik ölçümü yapılarak, elde edilen değerler doğrultusunda bir MATLAB/SIMULINK modeli oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmada farklı tipte yüklere sahip bir güç sistemi için harmoniklerin ve araharmoniklerin kıyaslanıp incelenmesi yapılmış olup alınabilecek önlemler planlanmıştır. Güç sisteminde meydana gelen sonucu görmek için ve harmonik ve araharmoniğin gösterilebilmesi için MATLAB/Simulink programıyla modüle edilip, simülasyonu yapılarak belirtilmiştir. Bu çalışmada amaç, güç sistemi üzerindeki harmonik ve araharmoniğin sonuçlarının analiz edilip neler yapılabilirliğinin incelenerek ilgili önerilerde bulunulmasıdır.

2. HARMONİKLERİN FİLTRELENMESİ

Harmoniklerin oluşmasına neden olan kaynaklar; Döner makineler, Transformatörler, Güç elektroniği elemanları, Doğru akım ile enerji nakli, Statik VAR generatörleri, Ark fırınları, Kesintisiz güç kaynakları, Fotovoltaik sistemler, Konverterler, Elektronik balastlar ve Gaz deşarjlı aydınlatma şeklinde sıralanabilir.

Harmonikler; genellikle nonlineer elemanlar ve nonsinüzoidal kaynaklardan birinin ya da her ikisinin de sistemde mevcut olmasından kaynaklanmaktadır. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde mevcut olması sinüzoidal dalganın bozulmasına yol açacaktır. Bu bozulan dalgalara, nonsinüzoidal dalga adı verilmektedir. Harmonikler güç sistemlerinde; rezonans olayları, ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, güç faktörünün değişmesi gibi teknik ve ekonomik sorunlara sebep olur. Sinüzoidal alternatif akım uygulanan bir alıcının şebekeden harmonikli akım çekmesi, bu alıcının yapısının gerektirdiği bir durumdur. Bu; alıcının nominal çalışması esnasında harmonik meydana getirerek akım çekmesi demektir. Harmonik üreten bu alıcıların dışında, lineer karakteristikte olmalarına karşın harmonikli akımlara yol açan alıcılar da mevcuttur. Bu da, alıcıya uygulanan gerilimin nonsinüzoidal oluşundan kaynaklanmakta olan bir durumdur. Alternatif akım üretimi esnasında alternatörlerde alınan iyileştirici önlemlerle, elektrik enerjisinin sinüzoidale mümkün olduğunca yaklaştırılması sağlanmaktadır. Ancak, aynı şebekeye bağlı diğer nonlineer yükler, lineer bir alıcıya etki edebilmektedir [7].

Enerji sistemlerinde, harmonikler nedeniyle gerilim ve akım dalga şekillerinde yaşanan bozulmalar birçok farklı soruna sebebiyet vermektedir. Bu sorunlar; Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerdeki kaybın artışı, Generatör ve şebeke geriliminin bozulması, Gerilim düşümünde artış, Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma sebebiyle hasar görmesi, Uzaktan kumanda, yük kontrolü gibi yerlerde ortaya çıkan çalışma bozuklukları, Şebekede rezonans olayları, rezonansın yol açtığı aşırı gerilimler ve akımlar, Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın ortaya çıkması, Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçümler, İzolasyon malzemesinin delinmesi, Ateşleme devrelerinin anormal çalışması, Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması, Makinelerde mekanik titreşimler (vibrasyon), Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma, Mikro bilgi işlemciler üzerinde hatalı çalışma, Elektronik kart arızaları, Elektromekanik cihazlarda ve kablolarda ısınma, CAD/CAM terminallerinde hafıza silinmesi, Kesici ve şalterlerde açmalar, Kompanzasyon sigortalarının atması, Güç kondansatörlerinde güç kayıpları, delinmeler ve patlamalar, Röle sinyallerinin bozulması ve anormal çalışması ve Enerji kayıpları şeklinde sıralanabilir [8]. Kullanıcıların sistemi kirlenmelerine ve birbirlerine zarar verecek etki yaratmalarına izin verilmesi düşünülemez, bu nedenle ülkelerin çoğunda elektrik dağıtımını yapan kuruluşlar çekilecek harmonik akım miktarını sınırlayan kurallar koymuşlardır [9].

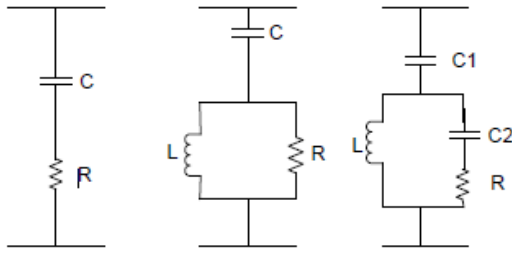
Endüstrileşmenin bir sonucu olarak elektrik şebekelerinde meydana gelen kirlenme kaçınılmaz bir durumdur. Enerji kalitesi üzerinde belirleyici rol oynayan başlıca faktörler; gerilim değişimleri, kesintiler ve temel frekans dışındaki frekansları (harmonikleri) üreten tüketicilerdir. Harmoniklerden kaynaklı olası zararlı etkilerin önüne geçilmesi yalnızca tasarım aşamasında alınacak önlemlerle mümkün olabilmektedir. Harmonik akımların şebekeye geçmesini engellemek adına ek devrelere gereksinim duyulmaktadır. Devreye yerleştirilen ve istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan bu devreler, 'harmonik

filtresi' olarak adlandırılır. Harmonik filtreler, bir veya daha fazla frekanstaki akımın veya gerilimlerin yani harmoniklerin etkisini azaltmayı amaçlar. Bu filtrelerin görevi, kısaca; harmonik üreten bir cihazın beslediği yükün gerilim dalgalarını düzelterek, AC sisteme katılan istenmedik harmonik bileşenlerin önüne geçmektir [10, 11, 12].

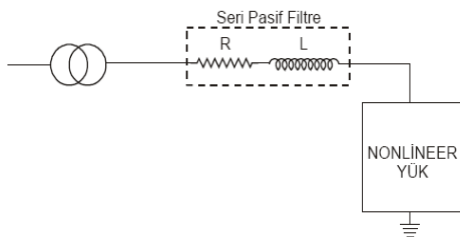
Endüstriyel tesislerde gerilimde meydana gelen bozulmanın %5'in üzerinde olmaması genellikle kabul edilir olup pasif filtreler aracılığıyla bu seviyeye inilebilir. Fakat hava alanı ve hastanelerde gerilimde meydana gelen bozulma (THD_v) %3 oranının altında olmalıdır. Bu, her zaman pasif filtre ile sağlanamayabilir. Böyle bir durumda aktif filtrelere ihtiyaç duyulur.

2.1. PASİF FİLTRELER

Pasif filtreler kaynak ve yük arasında yerleştirilen ve temel frekans dışındaki bileşenlerin yok edilmesine yönelik olarak tasarlanan ve kondansatör, endüktans ve kimi durumlarda direnç elemanlarından oluşan devrelerdir. Pasif filtreler, ortadan kaldırılmak istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerinin belirlenmesini amaçlar. Her bir harmonik için ayrı devre tasarımı yapılır. Pasif filtreler; seri pasif filtreler ve paralel (şönt) pasif filtreler olmak üzere 2 ayrı bölümde incelenir. Değişik pasif filtre çeşitleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Seri pasif filtreler harmonik kaynağı ile şebeke arasında seri olarak bağlanır. İstenmeyen harmonik bileşen işaretlerini geçirmemek için yüksek bir seri empedansın kullanımıyla sistemde istenmeyen harmonik işaretlerini engeller. Yalnızca belirli frekansa sahip harmonik işaretleri engeller. Seri filtreler, filtrelerde rezonans durumu gözlenmemesine karşın, tam yük akımını taşıma ve hat gerilimine göre yalıtım zorunlulukları mevcuttur. Şekil 2'de seri filtrenin devreye bağlanış şekli gösterilmiştir [13].



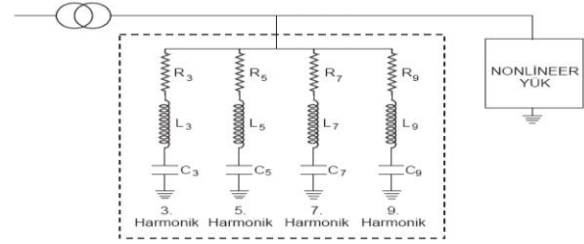
Şekil 1. Değişik pasif filtre çeşitleri



Şekil 2. Bir devrede seri filtrenin kullanımı

Seri filtreler pratikte AC motor sürücü devrelerinin ve yüksek güçlü AC/DC inverterlerin önlerinde kullanılır. Seri filtrenin uygulanmasındaki zorluk; tüm yük akımının filtre üzerinden geçmesi olup, tam hat gerilimleri için yalıtılmasının gerekmesi ve gerilim düşümüne sebebiyet vermesidir [8].

Parelel filtreler harmonik kaynağına paralel bağlanır. Paralel pasif filtreler, ortadan kaldırılmak istenen harmonik bileşen frekansı için rezonansa gelecek C ve L değerlerini hesaplayarak bu devreyi kaynağa bağlamayı amaçlar. Her bir harmonik frekansı için bu hesaplama ayrı ayrı yapılır ve oluşturulan devre kaynağına bağlanır. Bu işlem genlik değeri yüksek harmonik frekansları için yapılmalıdır. Bunun nedeni her harmonik için yapılması optimum bir çözüm sağlamamasıdır. Genliği düşük olan harmonik işaret frekansları için bunların etkinliğini azaltacak tek bir rezonans kolu oluşturmak yeterlidir. Şekil 3'de paralel filtrenin devreye bağlanış şekli gösterilmiştir [14].



Şekil 3. Bir devrede paralel filtrenin kullanımı

2.2. AKTİF FİLTRELER

Aktif güç filtresi genel kullanım sebebi olarak, tüketicilerinin her biri için kendisinin de bir harmonik kaynak olan yüklerinin akım gerilim dengesizliğini elimine etmektir. Diğer taraftan fabrikalar için kullanılan aktif güç filtresi temelde, güç dağıtım sistemlerindeki harmonik değerleri azaltmayı ve bu şekilde gerilim harmonikleri ve gerilim dengesizliklerini ortadan kaldırmayı amaçlar [15]. Aktif filtrenin çalışma yöntemi pasif filtrenin çalışma yönteminden bütünüyle farklıdır. Aktif filtre şebekedeki harmonikleri hesaplayarak, onlara aynı genlikte ters fazda harmonik üretir. Bu şekilde güç kalitesine etki eden harmonikleri yok eder. Aktif filtre var olan harmoniklerin ortadan kaldırılmasını sağlayacak harmoniklerin üretiminden sorumlu olup, aşırı yüklenme olasılığı taşımamaktadır. Kapasitenin üstündeki harmonikler şebekede dolaşmayı sürdürerek, aktif filtre kapasitesi mertebesinde harmoniklerin üretilmesine yani çalışmaya devam eder.

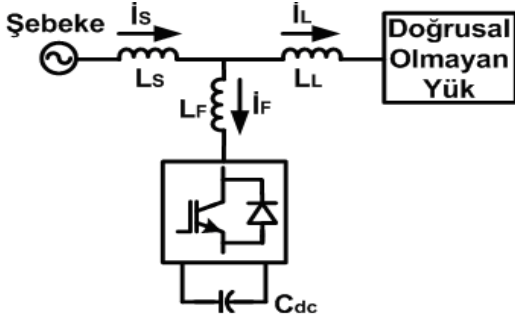
Aktif filtreler yapıları bakımından; paralel, seri ve hibrit güç filtreleri olmak üzere 3 bölümde incelenir. Kontrol yöntemine göre de açık çevrim ve kapalı çevrim aktif güç kontrol sistemi olarak iki farklı bölüm altında ele alınmaktadır.

Paralel aktif güç filtresi (PAGF), şebekeye paralel bağlanır. Filtre çeşitlerinden bu tür, sanayi işletmelerindeki en önemli ve en geniş kullanım alanına sahip yapılardır [16]. Bu filtreler harmonik akım filtrelemesi, reaktif güç kompanzasyonu, yük akımı dengelemesi ve nötr akım kompanzasyonu gibi akım kaynaklı harmoniklerin eliminasyonu için elverişlidir [17]. Şekil 4'de temel bir PAGF gösterilmektedir.

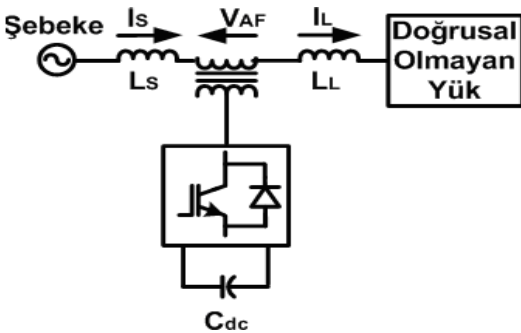
Paralel aktif güç filtrelerinin dezavantajları yüksek güçlü uygulamalarda oluşmaktadır. Çünkü yüksek güç uygulamalarında, aktif filtrelerde kullanılacak yarı iletken sıkıntısı meydana gelmektedir. Bu uygulamalarda transformatörler, çoklu konvertörler veya kaskat bağlama

konvertörleri PAGF ve elektrik güç şebekesi değerlerinin birleşmesi için kullanılması gerekmektedir [16].

Seri aktif güç filtresi (SAGF) şebeke ile bağlantılı bir trafo üzerinden seri bağlanır. Seri aktif güç filtresi temel olarak anlık gerilim giriş çıkışıyla yük boyunca saf sinüzoidal gerilim dalga formunun stabilizasyonunu sağlanmasına dayalıdır [16]. Bu filtreler gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilim regülasyonu, gerilim dengelenmesi, gerilim dalgacıklarının azalması ve gerilim düşmelerinin yok edilmesi için kullanılır [18]. Bu, yük üzerinde saf sinüzoidal dalga formu sağlar ki bu da gerilim değişimlerinde hassas olan cihazlar için oldukça önemlidir. PAGF'in SAGF'a karşı en büyük dezavantajı üzerindeki çıkış gerilim dalgasının sinüzoidal biçimini devam ettiremiyor olmasıdır. Bu durum SAGF'ı ideal hale getirmektedir [16]. Bununla beraber, SAGF transformatör bağlantılarının tamamını yük akımları üzerinden geçireceğinden, yüksek kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Harmonik akımların yüksek olduğu durumlarda, aktif güç filtresinin kapasitesi de artmaktadır. Şekil 5'de temel bir SAGF gösterilmektedir.



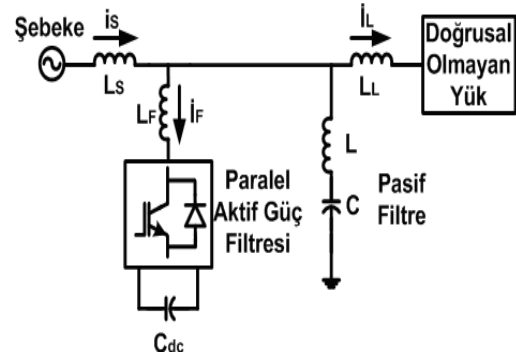
Şekil 4. Paralel aktif güç filtresi



Şekil 5. Seri aktif güç filtresi

Hibrit aktif güç filtresi (HAGF), aktif güç filtresi ve pasif güç filtresinin bağlantı yapılarının birleşimiyle meydana gelen filtre yapısıdır. HAGF sadece harmonik kompanzasyonu için kullanılmasının yanında, gerilim regülasyonu, güç kompanzasyonu, kaynak ve harmonik kaynaklı yük arası izolasyon için de kullanılmaktadır. Bu filtrelerin esas amacı, maliyeti azaltmak ve etkinliğini artırmaktır. PAGF'ın PPF ile bileşimi, PAGF ile beraber paralel pasif filtre veya yüksek geçişli filtresinin oluşumudur. Bunun için kullanılan PAGF düşük salımlı harmoniklerin eliminasyonuna yönelik modellenirken, PPF yüksek salımlı harmoniklerin kompanzasyonuna yönelik olarak modellenir [16]. Yüksek sıralı harmoniklerin kompanzasyonu adına, anahtarlar frekansı sınırlandırılır. Eş zamanlı olarak, bunun için

kullanılan PAGF, PPF ile kaynak empedansı arasındaki olası rezonansın elimine edilmesi için kullanılmaktadır [19]. Şekil 6'da, PPF ve PAGF ile oluşan temel bir hibrit aktif güç filtresini göstermektedir.



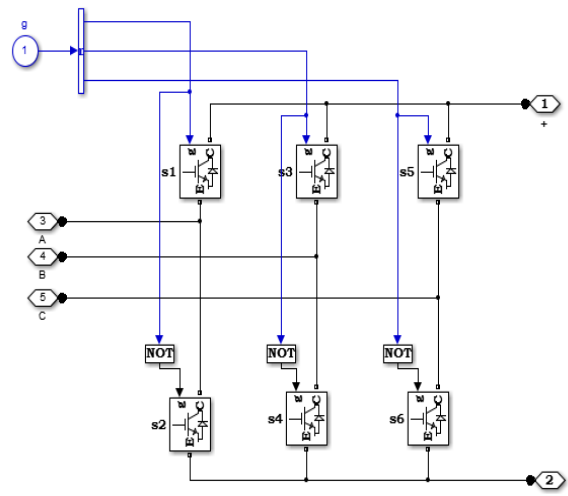
Şekil 6. Hibrit aktif güç filtresi

Hibrit aktif güç filtresinin tekniğindeki başlıca dezavantajı, PPF için çok sayıda güç bileşenine sahip olmasıdır. Burada, PPF sürekli sisteme bağlandıklarından lineer olmayan kaynakları önceden bilinen yükler için uygundur [16].

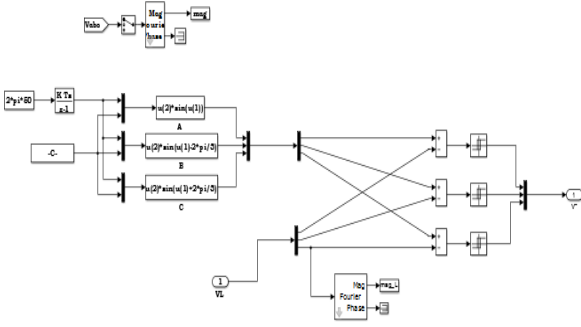
5. MATLAB/Simulink

Simulink, çok alanlı simülasyon ve model tabanlı tasarım için bir blok diyagram ortamıdır. Sistem düzeyinde tasarımı, simülasyonu, otomatik kod oluşturmayı ve gömülü sistemlerin sürekli test edilmesini ve doğrulanmasını destekler. Simulink, bir grafik editörü, özelleştirilebilir blok kütüphaneleri ve dinamik sistemlerin modellenmesi ve simülasyonu için çözümler sağlar. Özetle, simulink ile kod yazmadan blok diyagramlar kullanılarak simülasyon yapılabilmektedir. Simulink'in kullanıldığı alanlardan birkaçı; Görüntü işleme uygulamaları, Kontrol sistemleri (PID kontrolü), Sayısal işaret işleme, Elektrik devre çözümü, Durum-uzay modelleri ve Transfer fonksiyonları şeklinde sıralanabilir.

Simulink ortamında kullanılan seri aktif güç filtresi, tetikleme blok şeması Şekil 7'de görülmektedir. Şekil 8'de ise seri aktif güç filtresinin fourier dönüşümü simulink modellemesi ile oluşturulan iç yapısı blok şeması verilmiştir [20].

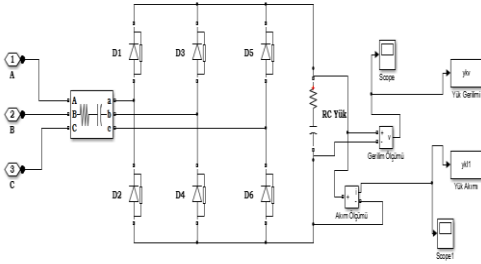


Şekil 7. Seri aktif filtre tetikleme blok şeması



Şekil 8. Seri aktif güç filtre iç yapısı blok şeması

Şekil 9'da Non-Linear kapasitif yükün Matlab/ Simulink blok şeması verilmiştir [20].



Şekil 9. Nonlineer kapasitif yükün Matlab/Simulink şeması

Matlab/Simulink programında örnek alınan sistemin seri aktif güç filtre ile modellenmesi ve simülasyonu yapılarak harmonik ve araharmonik bozulması incelenmiş ve eliminasyonu yapılmıştır. Tablolar halinde veriler sunulmuş, karşılaştırılarak sonuçlar gösterilmiştir.

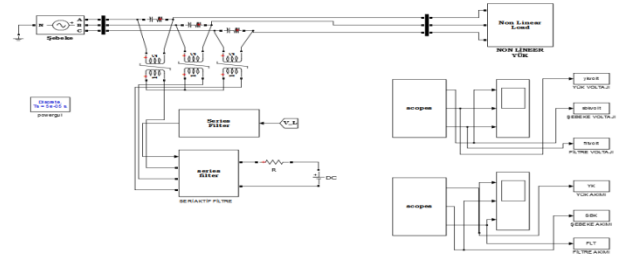
İncelenen modül yapı gerilimin üç fazlı bir dağıtım şebekesinden alındığı, fazların herbirinin 380 V AC olarak alındığı, yükün fazlara eşit olarak dağıldığı bir sistemdir. Seçilen sistem parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sistem modüle edilirken SAGF parametreleri

SAGF Parametreleri	Değer
Kaynak Gerilimi ve Akımı (Va, Vb, Vc, Ik)	380 V, 60A
Kaynak Frekans	50 Hz
Kaynak Empedansı (Rk, Ck)	1 Ω , 100e-6 F
Yük Empedansı (Ry, Ly)	55 Ω , 0.20e-3 H
Yük Empedansı (Ry, Cy)	55 Ω , 5e-6 F

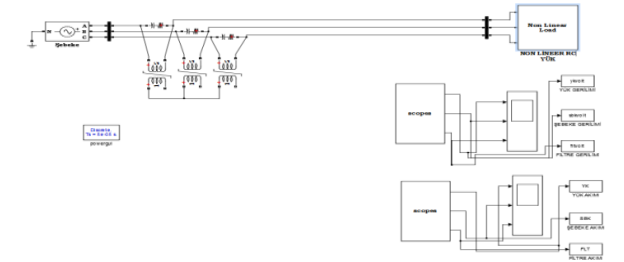
Çalışmanın amacı harmonik ve araharmoniklerin modüle edilerek belirlenmesi ve harmoniklerin yok edilmesi olduğundan filtrenin Şekil 10'da verilen Güç Sistemi

MATLAB/Simulink programında sistem yükü tasarlanarak analiz için sonuçlar elde edilmiştir.

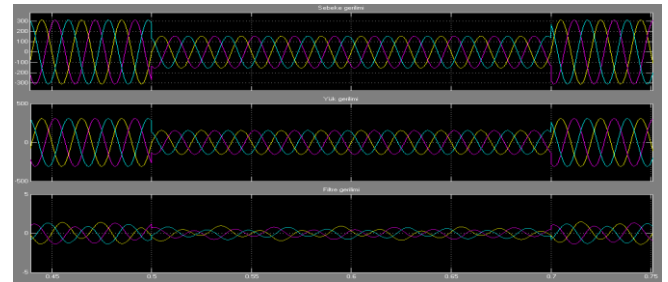


Şekil 10. Güç sistemi Matlab/Simulink şeması

Şekil 11'de Nonlineer kapasitif yüklü, fitesiz güç sistemine ait Matlab/Simulink şeması, Şekil 12'de Kapasitif yüklü fitesiz sisteme ait gerilim dalga verileri verilmiştir.

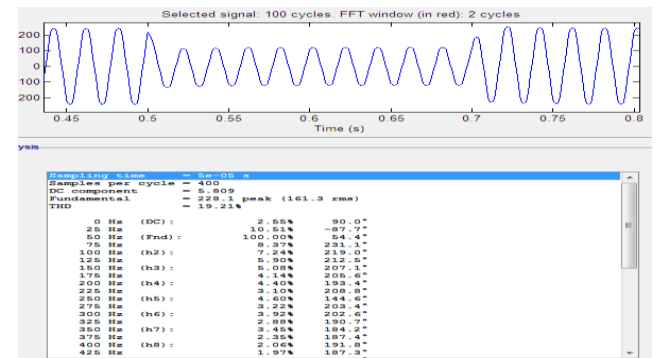


Şekil 11. Nonlineer kapasitif yüklü, fitesiz güç sistemine ait Matlab/Simulink şeması



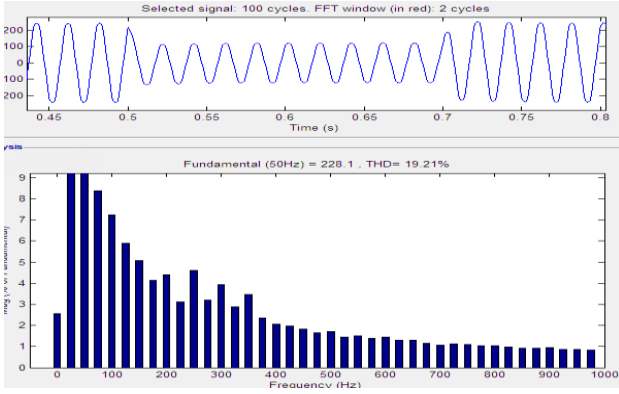
Şekil 12. Kapasitif yüklü fitesiz sisteme ait gerilim dalga verileri

Şekil 12'ye bakan olursak yük geriliminin fitesiz sisteme ait olduğu gerilim dalga verilerinin örnek zaman olarak (0.4-0.8) t sürelerinde harmoniğe maruz kalarak genişliğini düşüğünü 250 V'tan 150 V'a düşüğü ve sinüzoidal dalga şeklini koruyamayıp, filtremizin devrede olmadığı için gerekli ters faza sisteme akım gönderip regüle yapamadığı görülmektedir. Şekil 13'de Kapasitif yüklü fitesiz sistemin FFT sistemi analiz diyagramı verilmiştir.



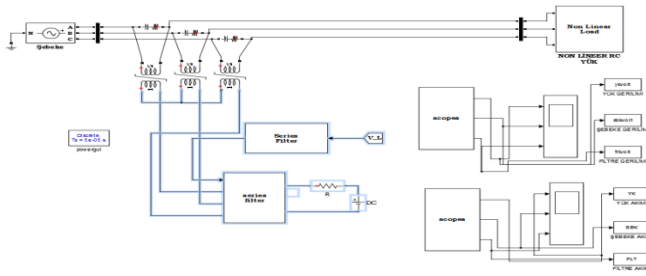
Şekil 13. Kapasitif yüklü fitesiz sistemin FFT sistemi analiz diyagramı

Şekil 13'e bakacak olursak filtrelenmemiş sistemin yine FFT sistemi analiz diyagramına bakılırsa görülen THD_V oranının %19.21 olduğu ve n. harmoniğin dışındaki araharmoniklerinde varlığının olduğu görülmektedir. Sistemdeki bozulmayı gösterebilmek, harmonik ve araharmonikteki karşılaştırmayı ve harmoniklerin yok edilmesini daha iyi gösterebilmek için seri aktif güç filtresi devreye alınmış ve sonuçlar yansıtılmıştır. Şekil 14'de kapasitif yüklü filtresiz güç sisteminin FFT sistemi ile genlik spektrumu görünümünü gösterilmektedir.

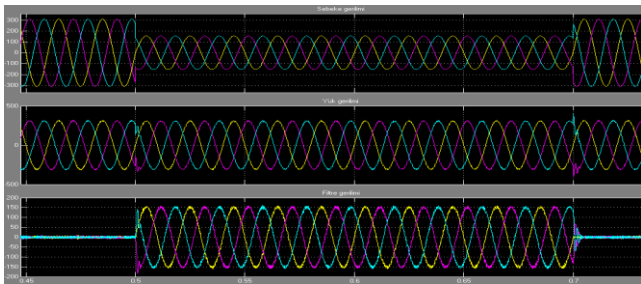


Şekil 14. Kapasitif yüklü filtresiz sistemin FFT sistemi genlik spektrumu

Şekil 15'de SAGF filtreli kapasitif yüklü güç sistemine ait Matlab/Simulink şeması verilmiştir. Şekil 16'da ise Kapasitif yüklü filtreli sistem gerilim dalga verileri gösterilmiştir.



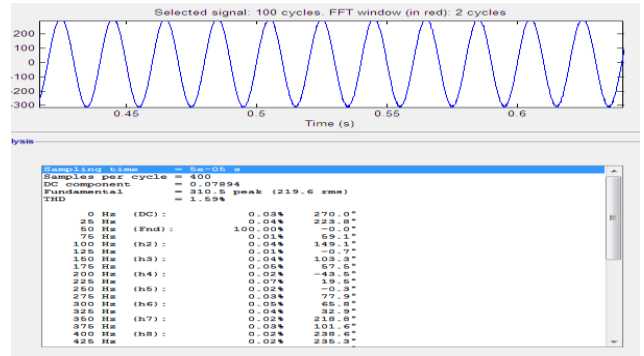
Şekil 15. SAGF filtreli kapasitif yüklü güç sistemine ait Matlab/Simulink şeması



Şekil 16. Kapasitif yüklü filtreli sistem gerilim dalga verileri

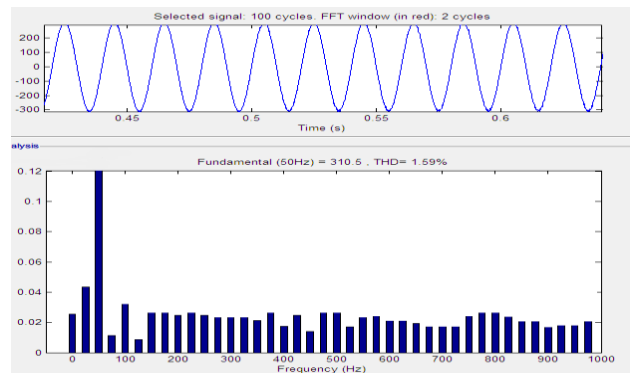
Şekil 16'ya bakacak olursak seri aktif güç filtresi kapasitif yükteki sistemde varken gerilim dalga verisinin stabilizasyonu için örnek zaman aralığı (0.4-0.8) t aralıklarında yük için 250 V'daki gerilimi korumak için genlik değerlerinin dengeye girebilmesi için 100 V luk genlik artırıp harmoniklere karşı koyduğu görülmektedir.

Kapasitif yüklü filtreli sistemin FFT sistemi analiz diyagramı Şekil 17'de verilmiştir.



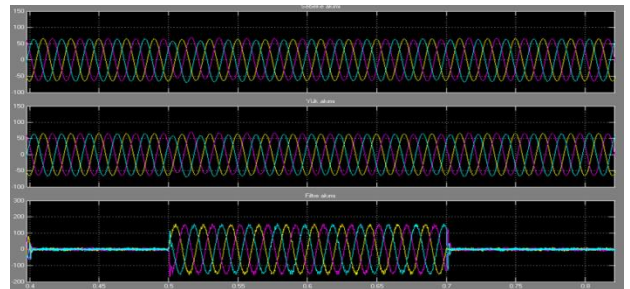
Şekil 17. Kapasitif yüklü filtreli sistemin FFT sistemi analiz diyagramı

Kapasitif yüklü filtreli sistemin FFT sistemi genlik spektrumu Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Kapasitif yüklü filtreli sistemin FFT sistemi genlik spektrumu

Şekil 17'de analiz diyagramından ve Şekil 18'de genlik spektrumundan kapasitif yüklü sistem için örnek verecek olursak (0.5-0.7) t sürelerinde genliğini koruduğunu 3., 5., 7., 9. harmonikleri sıfırlara çektiğini arada kalan yarı değerli 3.5, 4.5, 5.5, 7.5'deki değerlerde de araharmonik tanımladığımız nonlinear dengeleme teknikleri ile elimine edildiği gözükmektedir. Şekil 19'da farklı yükteki sistemin akım dalga verileri gösterilmiştir.



Şekil 19. Farklı yükteki güç sistemindeki akım dalga verileri

FFT analizi ile sistemin filtreye karşı vermiş olduğu sonuçları ayrıntılı şekilde liste halinde yapılmış ve gösterilmiştir. Harmonikler ve seçilen araharmonikleri için filtreden önceki yük uçlarından ve filtreyi kullandıktan sonraki yük uçlarından analizi yapıp Tablo halinde sunulmuştur. Birkaç noktadan karşılaştırma yapılarak gösterilmiştir. Tablo 2'de SAGF'tan önceki kapasitif yük ucunun, Tablo 3'de SAGF'tan sonraki kapasitif yük ucunun ve Tablo 4'de

filtreden önceki ve filtreden sonraki elde edilen veriler karşılaştırılarak sistem değerleri sunulmuştur. Alınan FFT analiziyle harmonikler için sonuçların hem çok düşük seviyeye getirildiği hemde seri aktif güç filtresi sistemdeyken harmonikleri elimine ettiği tespit edilmiş olup karşılaştırmalar Tablolar halinde gösterilmiştir.

Tablo 2. Filtreden önceki kapasitif sistem yük ucu FFT sistem gerilim harmonik analizi

Sampling time = 5e-05 s		
Samples per cycle = 400		
DC component = 5.809		
Fundamental = 228.1 peak (161.3 rms)		
THD = 19.21%		
0 Hz (DC) :	2.55%	90.0°
25 Hz :	10.51%	-87.7°
50 Hz (Fnd) :	100.00%	54.4°
75 Hz :	8.37%	231.1°
100 Hz (h2) :	7.24%	219.0°
125 Hz :	5.90%	212.5°
150 Hz (h3) :	5.08%	207.1°
175 Hz :	4.14%	205.6°
200 Hz (h4) :	4.40%	193.4°
225 Hz :	3.10%	209.8°
250 Hz (h5) :	4.60%	144.6°
275 Hz :	3.22%	203.4°
300 Hz (h6) :	3.92%	202.6°
325 Hz :	2.88%	190.7°
350 Hz (h7) :	3.45%	184.2°
375 Hz :	2.35%	187.4°
400 Hz (h8) :	2.06%	191.8°
425 Hz :	1.97%	187.3°

Tablo 3. Filtreden sonraki kapasitif sistem yük ucu FFT sistem gerilim harmonik analizi

Sampling time = 5e-05 s		
Samples per cycle = 400		
DC component = 0.07894		
Fundamental = 310.5 peak (219.6 rms)		
THD = 1.59%		
0 Hz (DC) :	0.03%	270.0°
25 Hz :	0.04%	223.8°
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-0.0°
75 Hz :	0.01%	59.1°
100 Hz (h2) :	0.04%	149.1°
125 Hz :	0.01%	-0.7°
150 Hz (h3) :	0.04%	103.3°
175 Hz (h4) :	0.05%	57.5°
200 Hz (h5) :	0.02%	-43.5°
225 Hz :	0.07%	19.5°
250 Hz (h6) :	0.02%	-0.3°
275 Hz :	0.03%	77.9°
300 Hz (h7) :	0.05%	65.8°
325 Hz :	0.04%	32.9°
350 Hz (h8) :	0.02%	218.8°
375 Hz :	0.03%	101.6°
400 Hz (h9) :	0.02%	238.6°
425 Hz :	0.02%	235.3°

Tablo 4. Filtresiz ve filtreli durumda sistemin Gerilim ve THD_v değerleri

Sistem		Sistem Gerilim THD _v (%)	Sistem Gerilim (V)
Kapasitif Yük Durumu	Filtresiz	19.21	219.6 RMS
	Filtreli	1.59	161.3 RMS

Sistem incelendiğinde alınan verilerin Tablo 2 ve Tablo 3'ün ayrıntılı analizi, önemli bilgilerin edinilmesini sağlamıştır. Harmonik ve araharmonik değerlerin eliminasyonunun görülmesini sağlamıştır. Harmonik ve araharmonik bozulma değerleri farklı yükler için karşılaştırmalı gösteriminde elde edilen kazanımlar sunulmuştur. Çalışmanın daha iyi anlaşılması için sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Kapasitif yükün SAGF'a karşı vermiş olduğu gerilim sonuç değerleri

Harmonik	Yükteki Filtreden Önce Harmonik Bozulma (%)	Yükteki Filtreden Sonra Harmonik Bozulma (%)
3	5.08	0.04
3.5	4.14	0.05
5	4.60	0.02
5.5	3.22	0.03
7	3.45	0.02
7.5	2.35	0.03

Tablo 5'ten kapasitif yükteki seri aktif güç filtresi için örnek verecek olursak, filtre kullanmadan önce 3. harmonikteki bozulma %5.08'dir. Seri aktif güç filtresinin sisteme alınmasıyla 3. harmonikteki bozulma filtresinin eliminasyonu ile %0.04'e düşmüştür. Kapasitif yük ucundaki araharmonik olarak tanımlanan yani tamsayı değerine denk gelmeyen 3.5'teki harmonik bozulma %4.14'dir. Seri aktif güç filtresinin sisteme alınmasıyla 3.5'teki harmonik bozulma filtresinin eliminasyonu ile %0.05'e düşmüştür. Seri aktif güç filtresinin tercih sebebi olarak ta sonuçların gösterdiği şekilde istenmeyen nonsinüzoidal dalga şekline sürekli karşılık verdiği, gerilim dengesizliğini elimine ettiği, ideal sinüzoidal dalga şeklini çıkardığı görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şebekede akan harmonik akımlar şebeke empedansında gerilim düşümüne yol açar ve bu da gerilim dalgasının formunun bozulması, kayıpların artması, şebekede kullanılan cihazlarda arızaların veya aksaklıkların oluşmasıyla sonuçlanır. Söz konusu sonuçlar, harmonik kaynakların sistemdeki yeri, iletim ve dağıtım sistemlerindeki yayılımı ve şebeke karakteristikleri ile bağlantılıdır.

Yapılan çalışmada örnek alınan farklı tipteki nonlineer yüklü güç sistemi için seri aktif güç filtresi kullanmadan önceki ve kullandıktan sonraki harmonik ve araharmonik bozulma seviyelerini elde etmek için sistemin MATLAB/Simülink programında modüle edilerek, simülasyonu yapılmıştır. Detaylı bir FFT analiz yöntemiyle incelemesi yapılan karşılaştırmalı spektrum ve Tablo analiz sonuçlarıyla, seri aktif güç filtreden önceki ve seri aktif güç filtreden sonraki 3 faz sistemin filtreden önceki kapasitif yüklü nonlineer yükün THD_v oranının %19.21 olduğu, filtreyi kullandıktan sonraki kapasitif yüklü nonlineer yükün THD_v oranının %1.59'lara kadar azaldığı görülmüştür. Harmonik gerilim stabilizasyonunun gerçekleştirildiği ve oluşan harmonik frekanslar etrafındaki bir tamsayıya karşılık gelmeyen

araharmoniklerin de negatif bir etkisinin olduğunu bunların da yok edilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

Güç kalitesi güç sistemindeki dikkat edilmesi gereken önemli problemlerden birisidir. Pasif güç filtresi ile yapılan harmonik çalışmalar ve harmonik filtreleme, doğrusal olmayan yüklerin güç kalitesi üzerindeki etkilerini engellemek için yeterli değildir. Bundan dolayı da devreye aktif güç filtresi girmektedir. Seri aktif güç filtresinin üstün özellikleri;

1) Harmonik ve araharmonikleri çok yüksek oranda filtreleme özelliği,

2) Harmonik değişimlerine milisaniyeler içerisinde çok hızlı cevap verme özelliği sonucu değişken yük koşullarında yüksek harmonik bastırma oranı,

3) Geniş bir yelpazedeki harmonikleri filtreleme özelliği,

4) Harmonik seviyelerinden bağımsız tasarım, birçok sisteme kolaylık ile uygulanabilme özelliği,

5) Şebeke empedansından bağımsız çalışma şebeke ile rezonansa girmeme özelliği,

6) Aşırı yüklenme durumu olmaması,

7) Seri aktif güç filtrenin harmonik kompanzasyon gücünün istenildiği zaman artırılabilmesi, şeklinde sıralana bilir.

Sonuç olarak harmoniklerin varlığı, elektrik sistemlerinin çalışmayacağı anlamına gelmemektedir. Bunun için filtrenin kendisinin de bir harmonik kaynağı olduğu göz önünde bulundurulursa, bu hassasiyetlerin tasarım sürecinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Kaynaklar

[1] Rüstemli S , Cengiz MS , Dinçer F, 2013. Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2(1): 30-38.

[2] Rüstemli S, Okuducu E, Almali MN, Efe SB, 2015. Reducing The Effects Of Harmonics On The Electrical Power Systems With Passive Filters. Bitlis Eren Univ J Sci & Technol 5 (1): 1 – 10.

[3] Rüstemli S, Cengiz MS, 2016. Passive Filter Solutions and Simulation Performance in Industrial Plants, Bitlis Eren Univ J Sci & Technol 6 (1): 39-43.

[4] Rüstemli S, Cengiz MS, 2015. Active Filter Solutions İn Energy Systems. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 23: 1587-1607.

[5] Şahin Ö, 2003. Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Analizi. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[6] Şahin YG, 2006. Harmoniklerin Yeraltı Güç Kablolara Etkisi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[7] Zenger M. Akım ve Gerilim Harmonikleri. www.harmonik.wsmustafazenger@gmail.com.

[8] Kocatepe C, Uzunoglu M, Yumurtacı, R, Karakas A, Arıkan O, 2003. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[9] Chapman D. “Harmonikler, Nedenleri Ve Etkileri” Copper Development Association.

[10] Karakaş A, Kocatepe C, Baysal M, Çakır H, 2005. Harmonikli Sistemlerde Filtre Uygulamasının Karşılaştırılması, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu. Kocaeli, 17-18.

[11] Ellis RG, 1996. Harmonic analysis of industrial power systems, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, 2: 417-420.

[12] Demirören A, Zeynelgil L, 2004. Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı, Kontrolü ve Çalışması. İstanbul, 1:204-238.

[13] Odabaşı T, 2004. 3. Harmoniğin meydana getirdiği problemler . www.etmd.org.tr.

[14] Sucu M, 2003. Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Türkiye.

[15] Akagi H, 1996. New Trends in Active Filters For Power Conditioning, Industry Applications, IEEE Transactions on, 32: 1312–1322.

[16] El-Habrouk M, Darwish K.M, Mehta, P, 2000. Active power filters: A review, Electric Power Applications, IEE Proceedings, 147: 403– 413.

[17] Li D, Tian J, 2008. A Novel Active Power Filter for the Voltage-Source Type Harmonic Source, Electrical Machines and Systems. ICEMS 2008. International Conference on, Wuhan, HUST, 2077 – 2080 (in China).

[18] Singh B, Al-Haddad K, Chandra A, 1999. A Review of Active Filters for Power Quality Improvement. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 46: 960–971

[19] Peng ZF, Adams JD, 2001. Harmonic Sources and Filtering Approaches. Industry Applications Magazine, IEEE, 7: 18–25

[20] Tekev S., 2021. Güç Sistemlerindeki Harmoniklerin ve Araharmoniklerin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü



Design And Control of Patient Bed For Prevention Pressure Ulcers in Long-Term Inpatients

Behçet KOCAMAN^{1*}, Volkan AKGÖL²

¹Bitlis Eren University, Electrical-Electronics Engineering Department, bkocaman@beu.edu.tr, Orcid No:0000-0002-1432-0959

²Graduated from Science Institute of Bitlis Eren University, volkan.net@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-5240-8732

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 October 2021
Received in revised form 4
November 2021
Accepted 5 November 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

pressure ulcer, bedsore, patient bed,
pressure sensor

ABSTRACT

Pressure ulcers cause a lot of pain and discomfort in the patient. It also has a negative impact on the quality of life. Some patient's treatment process may be take longer in hospitals. Like accident injuries, orthopedic treatments, long-term oncologic treatments. In these processes the time that spent on patient beds is very important. These patients must not be moved while the healing process. Especially elderly patients' and in these long-term patients some bed injuries may occur because of the pressure on their body named bed sores. Due to the negative effects of pressure ulcers on patients and costly treatment, they must be prevented. Controlling the pressure intensity can help prevent pressure ulcers. Currently, the solutions to prevent pressure ulcers include using different methods for movement and displacement of patients. In this study, a patient bed has been designed to prevent pressure ulcers in long-term inpatients as application of electronics in medicine. In this bed, several plastic balls placed on pressure points. These points are the most pressurized points of the human body. The control of pressure in this points to be implemented in real time by an arduino mega controller board. Then the simplified control system is tested on the designed bed. The air inside the airbags placed at the pressure points according to the pressure sensor values connected to the designed system is changed by the compressor. It has been observed that the pressure values decreased by an average of 8-11% by inflating the balls at the pressure points in the designed patient bed system In this way, pressure ulcers occurring at pressure points can be reduced and pressure ulcers can be prevented.

Doi: 10.24012/dumf.1051333

* Corresponding author

Introduction

Nowadays, depending on factors such as sedentary lifestyles and unhealthy eating disease has increased. Due to these increased diseases, the time spent in the hospital and therefore in the bed has extended. If a person lying on bed for a long time without any movement, some injuries will occur on specific pressure points. They are localized areas of damage to skin and adjacent tissues due to applied pressure, friction or shear. Failure to prevent this situation will result in edema and tissue loss in these points. To prevent these ulcers from forming, changing the pressure points of the body is a healthier solution. Turning the patients' body or changing the position

may harm the patients' that should not move and requires educated staff. Infection and prolong wound healing can be seen on inactive patients [1]. Conditions such as immobility, skin condition, edema, diabetes, vascular disease, smoking are effective in the formation of pressure ulcers [2]. These formations, are tissue damage that occurs in areas exposed to is chemia (reduced or stopped blood flow) after unbalanced pressure distribution [3]. These ulcers not only cause difficult treatment processes, but also increase the length of hospital stay, decrease the quality of life of patients and their

relatives, and increase the cost of health services [4-6].

The exact definition of bed sores is; these are tissue damages formed directly with under pressured or exposed to friction points either on the skin or under the skin [7,8].

Currently, the solutions to prevent pressure ulcers include using different methods for movement and displacement of patients. This situation is not possible for some patients or dangerous for some of them. In addition to it occurs problems for health care providers. To avoid such difficulties placing some air-filled balls to specific pressure points and changing the air pressure in them is an efficient way. Pressure ulcers cause a lot of pain and cause discomfort. They also have a negative impact on the quality of life[9]. While the incidence of pressure sores within the hospital in the USA is 8-11%, this rate is outside 15-20% outside the hospital [10].

The incidence of pressure ulcers in hospital in Turkey varies between 10-23% [11]. Furthermore, in studies conducted, it is observed that the pressure ulcer is 4.7-15% in intensive care units and 7.2-17.6% in other clinics[12]. No evidence studies have been found regarding which of the interventional practices for preventing pressure ulcers are more effective and which indicate their superiority. It has been stated that only precautions should be taken in almost all of the studies [12]. Pressure ulcers consist of four category/stage. Visual of these categories/stages is given in Figure 1.

Category/stage I: The skin looks red and warm to the touch. Itching sensation may occur.

Category/stage II: Painful open ulcers or blisters may appear colorlessly.

Category/stage III: A crater-like appearance may occur due to tissue damage under the skin surface.

Category/stage IV: Serious infection may occur on the skin. Muscles, bones and even tendons can be seen.

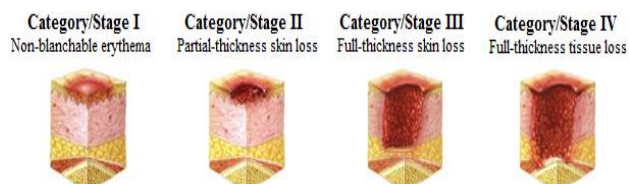


Figure 1. Visual of pressure ulcers categories/stages

Pressure ulcer or bedsore is the third costly disorder after cancer and cardiovascular diseases. In various studies, treatment costs have been estimated to be

nearly \$125-451 for stage 1 and 2 of bedsore and \$1,400-2,300 for stages 3 and 4 of bedsore [13].

The treatment of pressure ulcers can be expensive, with patients spending an estimated \$4,000 to \$40,000 in additional hospital costs and care depending on the severity [14]

The cost of treating a pressure ulcer varies from £1214 (stage 1) to £14108 (stage IV). Costs increase with ulcer severity because the time to heal is longer and the incidence of complications is higher in more severe cases [15]. In all settings, the cost of preventing pressure ulcers per patient daily varies between € 2.65 and € 87.57. The cost of daily pressure ulcer treatment per patient in different settings ranges from € 1.71 to € 470.49 [16].

Related Works

Treatments for pressure ulcers need to be prevention as they are both laborious and expensive. A few of research has been carried out in area of pressure ulcers. Although the rate of pressure sores in the hospital varies between 10-23% unfortunately, there are not many studies related to pressure sores in our country. Nearly in all studies, they just only advice to take some actions to prevent from this sores [12]. The treatment process after the formation of pressure sores is a long-term and costly process, and it has been found to be the third most costly health problem after serious diseases such as cancer and cardiovascular [17]. The most commonly used method to prevent the formation of pressure sores is to change the patient's lying position to relieve pressure points. Knox and his friends advocated the necessity of changing lying positions on the bed of patients who has prone to pressure sores more frequently than once every two hours [18]. According to the researches; The most efficient method to reduce pressure on the body points is using air filled beds, pillows and materials made from hospital-specific foam [19-27]. The incidence of pressure sores, which is 10-23% in the hospital, can increase to 56% in intensive care units. The bed sores cause serious problems like overuse of intensive care units, increasing the crude death rate and significantly increasing the cost of treatment [28]. For this reason, to manage an efficient treatment process to prevent bed sores is; making a risk assessment.

Determination of the factors which cause pressure ulcers and planning and implementing initiatives for these factors are the most effective way to prevent bedsores. The most efficient treatment method is to prevent the development of pressure ulcers [17]. Simulation, and experimental testing of a mechanically actuated smart hospital bed for the prevention of pressure ulcers in hospital patients [29].

An air mattress that prevents patients from developing bedsores, thereby improving their quality of life, promoting their rehabilitation, and reducing the burden of caregivers when changing a patient's body position had been developed [30]. The steps for preventing the pressure ulcers can be listed as risk assessment, evaluation and care of the skin, changing the patients' position, education, nutrition, supporting surfaces on patients' bed [31-35]. As it is clear from all the researches taking precautions before the bed sores occur is the best way in treatment process. The best method of this process is reducing the pressure on the specific points.

Lowering or eliminating continuous pressure in areas with bone protrusions in the body, minimizing

friction damage and changing the lying positions of patients' bodies must be done for Patients at high risk of developing a pressure sore [36]. Changing the patients' lying positions is only done to reduce the pressure at the pressure points. This process will save the points of the most pressurized points from bed sores before they occur. Physical inactivity evaluated as the biggest risk factor for pressure sores and changing the position of the patient is a commonly used pressure-ulcer prevention strategy in patients which are hospitalized or in long-term care units [37]. The lying positions on a standard human body shown in Figure 2. The lying positions are effective in the formation of pressure sores.

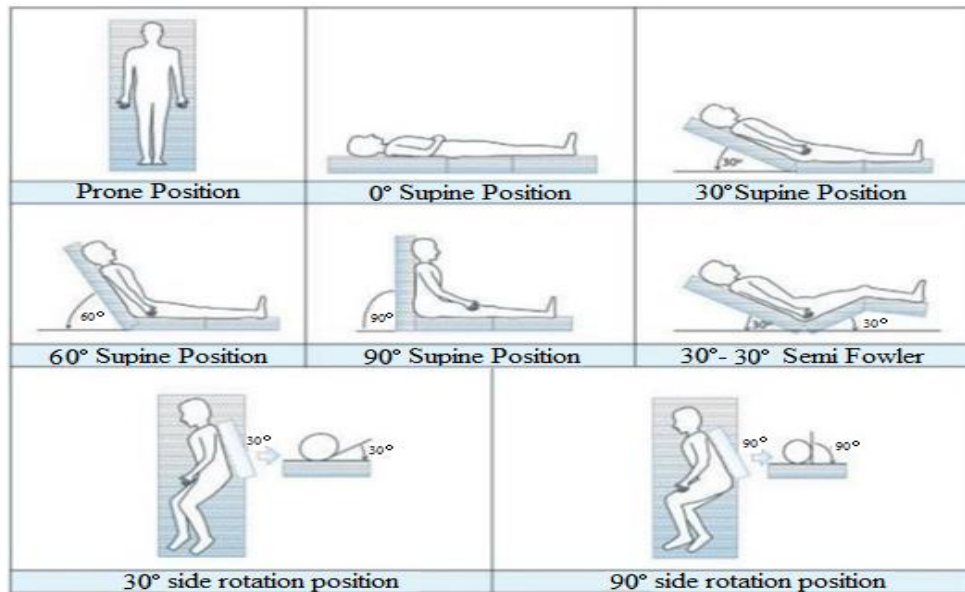


Figure 2. Lying positions for a standard human body

In a treatment process there can be many lying positions for patients. Depending on the type of disease, the lying position may vary. In all cases, it seems that the most effective method will be pressure reduction. most pressurized points of a human body

while lying has been shown in Fig. 3. It is aimed to prevent the contact of bone protrusions with each other by changing positions, and to minimize the damage that occurs after prolonged pressure, friction and shear[17].

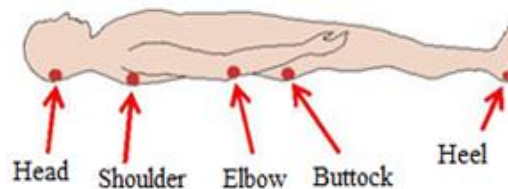


Figure 3. Most pressurized points of a human body

Instead of changing the positions of patients a patient smart bed modification can help to reduce pressure on these points. Because movement of a patient during a treatment process can cause some serious problems depending on the disease.

The most important factor that plays a role in the development of pressure ulcers is pressure. Intensity and duration of pressure, tolerance of tissue, individual or environmental factors are factors that form ulcer. Changing the position shifts the pressure to other points. Prevalent patient bed systems by replicating the patient turning processes solely through actuation of the bed without the need for a nurse to exert themselves. The aim of this study is to investigate whether the pressure at the pressure points decreases or not automatically thanks to the designed bed system. Because, controlling and monitoring the pressure intensity in the body can help prevent pressure ulcers.

Currently, a variety of techniques are used to prevent bedsores solutions, movement and displacement of patients. These techniques are not possible for some patients or dangerous for others, and are a problem for healthcare providers [38].

In this study, an electronic patient bed system was designed, and various suggestions were made to prevent pressure sores in long-term inpatients. The air pressure in the airbags are constantly monitored by a air-pressure sensor. Based on data getting from this sensor, the amount of air is changing by a control circuit to change the pressure on the pressure points. It is aimed to prevent pressure sores before they occur with repeating this process.

The rest of the paper has structured as follows. In Section III, materials and methods have explained. In other words, hardware and software features of the device prototype have described. Results and discussion have investigated in Section IV. In Section V, conclusions have been evaluationed.

Materials and Methods

This section consists of system components and control system. In system Components, there are 8 pressure points on a lying body. These are head point (1 ball), shoulder point (2 balls), buttock point (1 ball), elbow point (2 balls), heel point (2 balls). If you don't change the pressure on this points blood flow in capillaries will slow down, the veins will tear, blood flowing out of the vessel will cause edema and bed sores will appear. To change the pressure, 8 x air

filled plastic balls with 20 cm diameter placed on these points.

The materials are listed below with their features;

- a) Bed: A sponge piece with 90 cm*190 cm*12 cm dimensions and 22 density. This sponge is the same as it used in standard orthopedic patient bed.
- b) Solenoid Valves: These valves are special mechanical devices that allows air or water flow in it with a certain voltage. In this study, 24 V DC operated solenoid valves are used. These valves are controlled by a sensor connected to the balls with pneumatic hoses.
- c) Air Compressor: 1,72 Mpa DC compressor used in this system to inflate the balls. Compressor output diameter is 6mm.
- d) Pneumatic hose: The hose used in the system is selected from durable and flexible material with a diameter of 6 mm.
- e) Plastic Inflatable Ball: The system uses a durable and flexible plastic ball with a diameter of 25 cm. Thus, it remains durable against the inflated and deflated processes.
- f) Software: Proteus, Solid Works, Arduino Software
- g) Power Supply: In the system different power supplies used with 24V-5A, 12V-5A , 5V-2A values.
- h) 8 Channel relay board: In the system a 8 channel relay board used to switch the solenoid valves on and off. These relays have controlled with Arduino board.
- i) Arduino Mega Controller Board: The arduino mega is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button
- j) 0-2 Bar Gas Pressure Sensor (BCT 22): This pressure sensor is %100 domestic production and can be used in many different industrial applications. With this sensor, which can measure between 0-2 bars, it can accurately measure the pressure of the air in the airbags and send information to trigger the circuit. The block scheme of the experimental setup is shown in Figure 4.



Figure 4. Block scheme of the experimental setup.

To programme the Arduino board, Arduino software has used. The analog data from the sensor was instantly monitored on the Arduino serial port screen. All relays, valves, sensor and arduino board

that used in the system simulated and tested in Proteus software. System's 3D design has prepared in Solid Works software. Bed's sponge dimensions and plastic balls' locations shown in Figure 5.

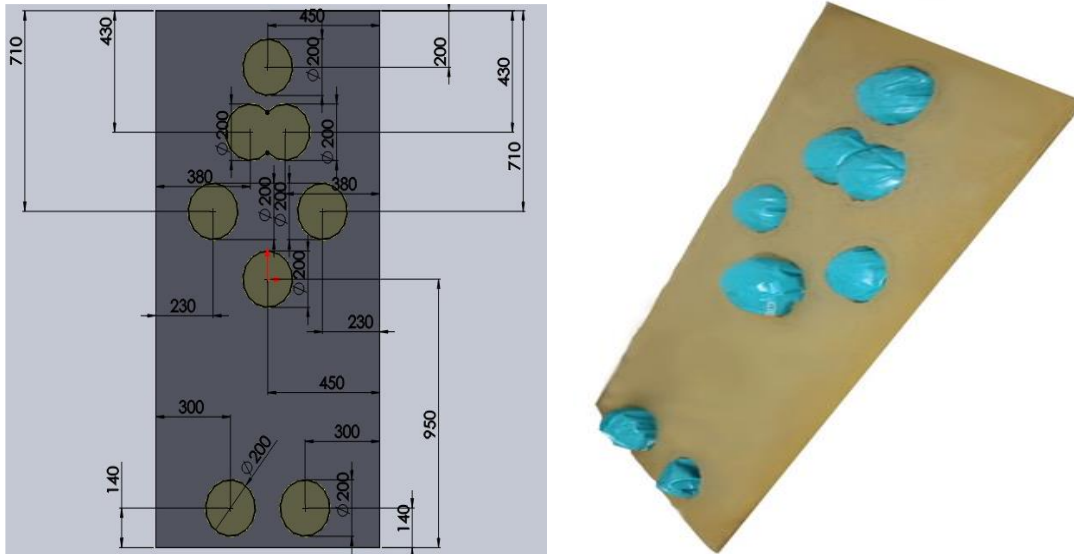


Figure 5. Balls' locations and dimensions

In the control system, a total of 9 solenoid valves were used as 8 discharge points and 1 discharge valve. Every valve in the system is controlling with a relay connected to Arduino outputs. There is one

sensor to control all air pressures in plastic balls. Instead of using many sensors, just one sensor used and connected to balls with hoses. By opening the valves one by one system can measure all pressure of

air in all balls. Arduino mega controller board (control system) and circuit connections drawn for

the designed patient bed are given in Figure 6. The photo of the experimental setup is shown in Figure 7.

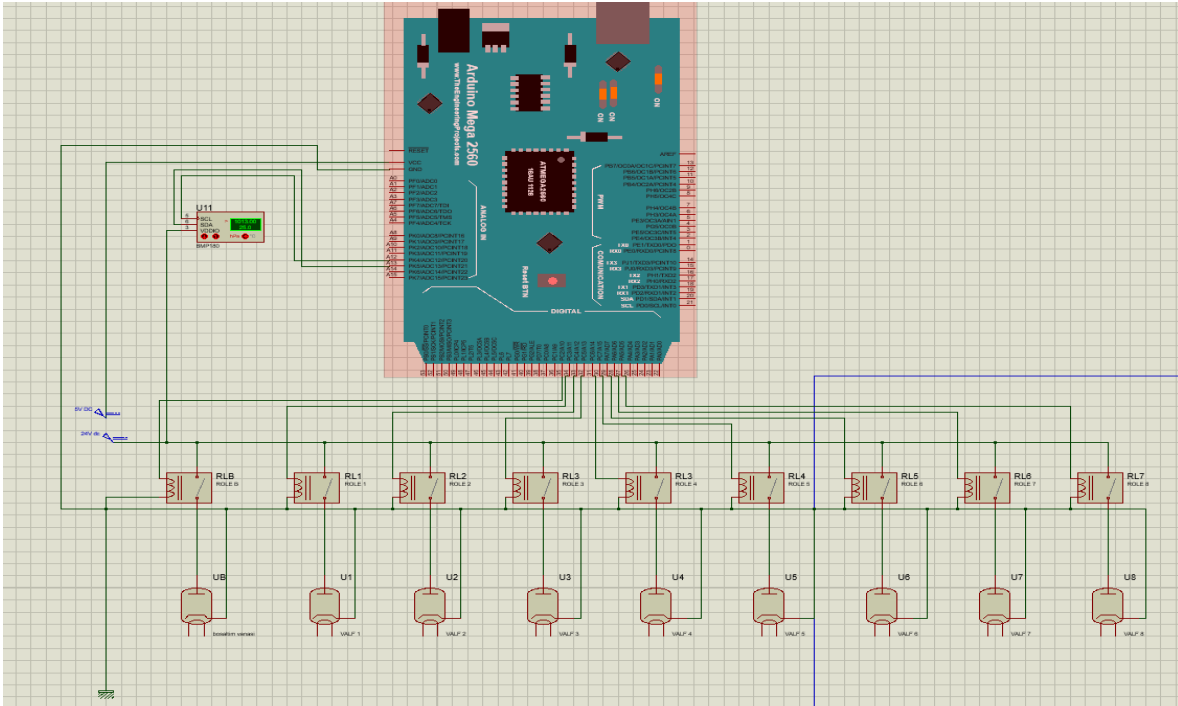


Figure 6. Control system part installation and connections

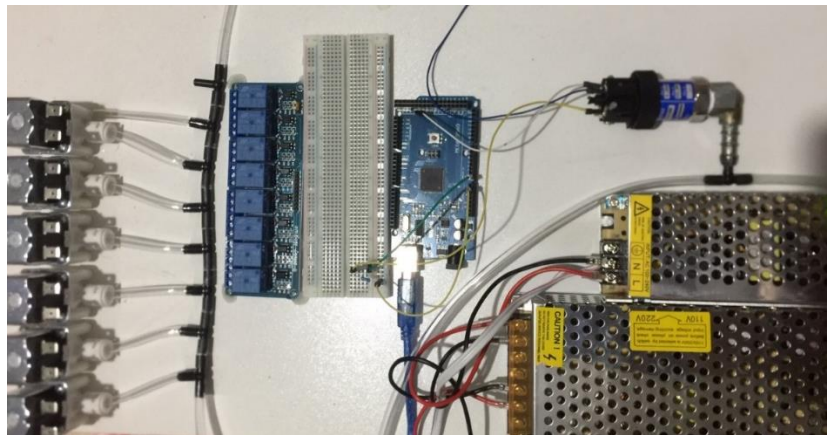


Figure 7. Photo of the experimental setup.

System operated while the patient in bed. The air compressor starts and fills all plastic balls to a certain level. Meanwhile all pressures of balls monitoring. After the pressure of all balls comes to set point system switches to standby for 25 minutes. The waiting time of 25 minutes may vary depending on the type of disease and the physical structure of the

patient. This time value can be changed manually. After this period end the solenoid drain valve is triggered and air in all balls connected to the common terminal will evacuated. Flow chart of the proposed algorithm is shown in Figure 8.

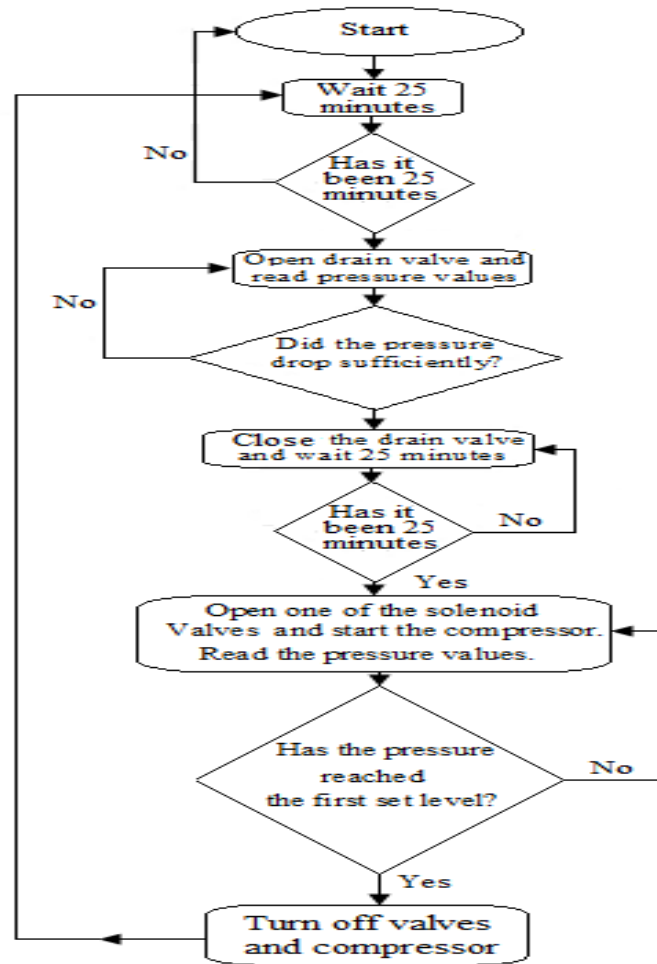


Figure 8. Flow chart of the proposed algorithm

The solenoid drain valve will be closed while draining continues for a certain period of time, and the pressure sensor will measure the pressures by opening the solenoid valves connected to each pad one by one. Once the system becomes stable, it will wait for another 25 minutes. Afterwards, the solenoid valve connected to each point will be opened and air will be sent to the airbags one by one with the help of a compressor, and the balls will be inflated. When the inflation processes reach the standard pressure values, first the compressor and then the solenoid valve connected to that point will close and the same processes will start for the next point. Pressure will be measured for all points and when the pressure reaches the maximum value, the valves will be closed, and the system will enter a 25 minute waiting period again. These processes will continue as long as the system remains operational.

In the study, the use of arduino mega saves time and increases efficiency. Making a circuit design using a

different microprocessor is disadvantageous in both cost and time. With arduino mega controller board, pressure values can be read directly from analog outputs and can be continuously monitored on the serial port screen.

Result and Discussion

The pressure values obtained for a patient lying on plastic inflatable balls used as airbags are different for each point. The pressure increases as the patient's weight increases. The buttock is the part where the formation of bed pressure ulcers is most common. This part where the high pressure values are read is the buttock part.

The elbow is the region that receives the least pressure. However, if pressure ulcers occur, it is more difficult for the patient to return to normal life. Heel part is one of the most important regions in body.

Especially, it is a part that affects activities such as moving and walking after treatment for a long time.

The maximum pressures of the balls used in the patient bed have been measured as 1,165 bar. As a result of the measurement, the compressor used in the system can give 17 bar pressure and produce enough pressure for the system. However, when the system operates, it is necessary to make sure that the compressor does not work before valve triggering

takes place. Otherwise, pneumatic hoses can be thrown from the connection points or pipes at the ball inlets may come off.

The pressure values read from the pressure sensors placed at the pressure points in the patient bed for patients with different weights are given in Table 1. These values have been taken when the balls at the pressure points have been not inflated.

Table 1. The pressure values read from the pressure sensors at the pressure points

Patient weight(kg)	Head point(bar)	Shoulder point(bar)	Elbow point (bar)	Buttock point (bar)	Heel point (bar)
70	0,763	0,817	0,744	0,858	0,751
75	0,817	0,876	0,797	0,920	0,805
80	0,872	0,935	0,851	0,981	0,858
85	0,926	0,993	0,904	1,042	0,912
90	0,981	1,052	0,957	1,104	0,966
95	1,035	1,110	1,010	1,165	1,020

For patients with weights specified in Table 1, the pressure values read from the pressure sensors are given in Table 2 by inflating the inflatable balls placed at the pressure points with the compressor thanks to the control system.

Table 2. The pressure values read from pressure sensors when inflatable balls are inflated

Patient weight(kg)	Head point(bar)	Shoulder point(bar)	Elbow point (bar)	Buttock point (bar)	Heel point (bar)
70	0,694	0,739	0,685	0,781	0,682
75	0,742	0,794	0,731	0,826	0,724
80	0,794	0,847	0,781	0,879	0,769
85	0,838	0,897	0,829	0,934	0,814
90	0,883	0,949	0,876	0,988	0,861
95	0,921	1,002	0,919	1,037	0,908

When Table 1 and Table 2 were compared, it was observed that the pressure values decreased by an average of 8-11% by inflating the balls at the pressure points in the designed patient bed system. Thus, it helps to prevent pressure ulcers in pressure points in long-term inpatients.

Conclusions

In this study, patient bed modeling, simulation, design and application were performed to prevent the development of pressure sores. Patient bed made as a prototype, can be used for patients with pressure ulcers.

In conclusion, the results clearly show that with the bed designed, the pressure formed at the patient's pressure points decreased with an average of 8-11% pressure with the arduino mega board control. Thus, the bed can be used as an auxiliary element in preventing pressure ulcers. By using this bed, nurse support will be reduced and the personnel will be saved. In addition, it can be preferred that the dimensions and cost of the electronic materials used in the control part of the bed are low compared to other mechanical beds.

The materials used in the study have been selected from materials that can be easily found in case of malfunction or change and are very practical to change. Mattress material other than airbags can be manufactured using different animal feathers or wool instead of sponge. If the compressor used is selected as quietly as possible or if the pneumatic hoses can be placed far enough from the patient, the patient will not be adversely affected by the compressor operation. The study is a good example of application of electronics in medicine.

References

- [1] G.Ö. Aydın, N. Turan N, H. Kaya, "Malnutrition in Long-Term Hospitalized Patients," *Kafkas J Med Sci*, vol. 6(1), pp.58-61, 2016.
- [2] S. Coleman, C. Gorecki, E.A Nelson, et al, "Patient risk factors for pressure ulcer development: systematic review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 50 (7), pp. 974-1003, 2013.
- [3] E. İnözü, H.R. Özakpınar, M. Durgun, "Geriatrik hastalarda bası yaralarına yaklaşım," *Dicle Tıp Dergisi*, vol.39(3), pp.408-412, 2012.
- [4] S. Bergquist, "Pressure ulcer prediction in older adults receiving home health care: implications for use with the OASIS," *ADV Skin Wound Care*, vol.16(1), pp.132-9, 2003.
- [5] P. Papanikolaou, P. Lyne, D. Anthony, "Risk assessment scales for pressure ulcers: a methodological review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 44, pp. 285-296, 2007.
- [6] S. Şahin, F. Akçiçek, "Yaşlı hastada bası yaraları önleme, tanı ve tedavisi," *Akademik Geriatri Dergisi*, pp. 1308-5115, 2009.
- [7] A. Sönmez, "Bası Yaraları," *Türkiye Aile Hekimliği Dergisi*, vol. 7(2), pp. 57-62, 2007.
- [8] G. Bennet, C. Dealey, J. Posnett, "The Cost of Pressure Ulcers in The Uk," *Age Ageing*. vol. 33(3), pp. 230-5, 2004.
- [9] C. Gorecki, J.M. Brown, E. A. Nelson, et al, "Impact of pressure ulcers on quality of life in older patients: a systematic review," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 57(7), pp. 1175-1183, 2009.
- [10] F.K. Hülya, S. Gülten, "Basınç Yarası Değerlendirilmesinde Sık Kullanılan Ölçekler," *JAREN*, vol. 3(1), pp. 49-54, 2017.
- [11] F. Çınar, Ş.S. Kula, A.F. Eti, "Yoğun Bakım Ünitesi'nde Basınç Yarasının Önlenmeye Yönelik Türkiye'de Yapılmış Çalışmaların İncelenmesi; Sistematiik Derleme," *Balikesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, vol. 7 (1), pp. 42-50, 2018.
- [12] S. Sayar, S. Turgut, H. Doğan, Et Al, "Incidence Of Pressure Ulcers in Intensive Care Unit Patients At Risk According To The Waterlow Scale And Factors Influencing The Development Ulcers", *J.Clin Nurs*. vol.18(5), pp.765-74, 2009.
- [13] L. Schoonhoven, J.R. Haalboom, M.T. Bousema, A. Algra, D.E. Grobbee, M.H. Grypdonck, et al. "The prevention and pressureulcer risk score evaluation study. Prospective cohort study of routine use of risk assessment scales for prediction of pressure ulcers," *BMJ*, pp. ; 325-797, 2002.
- [14] J. Agostin, D. Baker, S. Bogardus, "Making Health Care Safer: A Critical Analysis of Patient Safety Practices," *Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality*, Chapter 27. Prevention of Pressure Ulcers in Older Patients, 2001.
- [15] C. Dealey, J. Posnett, A. Walker, "The cost of pressure ulcers in the United Kingdom," *Journal of Wound Care*, vol. 21(6), pp. 261-266, 2012.
- [16] L. Demarré, A. V. Lancker, A. V. Hecke, S. Verhaeghe, M. Grypdonck, J. Lemey, D. Beeckman, "The cost of prevention and treatment of pressure ulcers: A systematic review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 52(11), pp. 1754-1774,2015.
- [17] B. Ceylan, "Basınç Yaralarının Önlenmesinde Pozisyon Değişirme Sıklığının Doku Oksijenlenmesi Üzerine Etkisi", Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 109s, İzmir, 2016.
- [18] D.T. Bereded, M.H. Salih & A.E. Abebe, "Prevalence and risk factors of pressure ulcer in hospitalized adult patients; a single center study from Ethiopia", *BMC Res Notes* 11, 847, 2018.
- [19] H.C. Wann, P. Hagell, A. Willman, "Risk factors and prevention among patients with hospitalacquired and pre-existing pressure ulcers in an acute care hospital," *Journal of Clinical Nursing*, vol. 17, pp. 1718-1727, 2008.
- [20] A. Mitchell, "Adult pressure area care: preventing pressure ulcers," *British Journal of Nursing* Vol. 27, No. 18, 2018.
- [21] G. Özgenel, R. Kahveci, S. Akın, S. Özbek, M. Özcan, "Bası Yaralarında Tedavi Prensiplerimiz ve

- Sonuçlarımız,” *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, vol. 28 (2), pp. 27-32, 2002.
- [22] R.Yousefi, S. Ostadabbas, M. Faezipour, M. Nourani, V. Ng, L.Tamil, A. Bowling, D. Behan, M. Pompeo, “A Smart Bed Platform for Monitoring & Ulcer Prevention, 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), pp.1362-1366, 2011.
- [23] L. Khaleghi, “A Review on Equipped Hospital Beds with Wireless Sensor Networks for Reducing, Bedsores,” *J Nur Healthcare*, vol. 3(3), pp.1-8, 2018.
- [24] K. Ulrika, E.Maria, B. Sara, E. Anna-Christina, F. Mats, L. Lars-Göran, L. Margareta Lindgren, The Effects of Different Lying Positions on Interface Pressure, Skin Temperature, and Tissue Blood Flow in Nursing Home Residents, *Biological Research For Nursing*, Vol. 17(2), pp. 142-151, 2014.
- [25] S. Joshua, M.D. Mervis, J.Tania. M.D. Phillips, “Pressure ulcers: Prevention and management,” *Journal of the American Academy of Dermatology*, Vol. 81(4), pp. 893-902, 2019.
- [26] N. Cullum, J. Deeks, T. A. Sheldon, F. Song, A.W. Fletcher, “Beds, mattresses and cushions for pressure sore prevention and treatment (Cochrane Review). In: The Cochrane Library”, *Oxford: Update Software*, Issue 4, 2000.
- [27] H. James, “Preventing pressure sores in patients’ homes,” *Prof Nurse*, vol. 12(6), pp.12-4, 1997.
- [28] A.J.P.B. Keller AJPB, J.Wille, V.B. Ramshorst, V.D.C.Werken, “Pressureulser in intensive care patients: A review of risk and prevention,” *Intensive Care Med*, vol. 28(10), pp. 1379-88, 2002.
- [29] G.B. Zachary, “Design And Control Of A Smart Bed For Pressure Ulcer Prevention,” Master Thesis, 2013; The University of Texas.
- [30] M. Akitsugu, I. Kyoko, T. Shin-ichiro, W. Mika, F. Shuji, F. Masutaka, “Body Pressure Sensing Mattress for Bedsore Prevention,” *Sei Technical Review*, vol. 78, pp.95-99, 2014.
- [31] E. Gürçay, “Spinal kord yaralanmalı hastalarda bası yaraları,” *Marmara Medical Journal*, vol.22(2), pp.162-168, 2009.
- [32] European Pressure Ulcer Advisory Panel and National Pressure Ulcer Advisory Panel. Prevention and treatment of pressure ulcers: quick reference guide. Washington DC: National Pressure Ulcer Advisory Panel; 2009. (Çev. Yara Ostomi İnkontinans Hemşireleri Derneği). Basınç Ülserlerini Önleme: Hızlı Başvuru Kılavuzu. Aralık 2010, Ankara.
- [33] Ö. Uzun, “Cerrahi hastalarda basınç ülserlerinin önlenmesi,” *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, vol. 5(15), pp. 113-127, 2010.
- [34] L.A. Krapfl, M. Gray, “Does regular repositioning prevent pressure ulcers?” *J Wound Ostomy Continence Nurs*, vol. 35(6), pp.571-577, 2008.
- [35] R.J. Shannon, L. Brown, D. Chakravarthy, “Pressure ulcer prevention program study: a randomized, controlled prospective comparative value evaluation of pressure ulcer prevention strategies in nursing and rehabilitation centers,” *Advances in Skin & Wound Care*, vol.25(10), pp.450-64, 2012.
- [36] B. Gündüz, “Bası yaralarının önlenmesi,” *Türkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences*, vol.3(45), pp. 25-31, 2007..
- [37] B.M. Gillespie, W.P. Chaboyer, E. McInnes, B. Kent, J. A. Whitty, L. Thalib. “Repositioning for pressure ulcer prevention in adults,” *Cochrane Database Syst Rev*, 4, 2014.
- [38] S. Ajami , L. Khaleghi, “A review on equipped hospital beds with wireless sensor networks for reducing bedsores,” *J Res Med Sci* vol.20, pp1007-15,2015.



Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının CEC2020 test fonksiyonları ile karşılaştırılması

Comparison of current metaheuristic optimization algorithms with CEC2020 test functions

Elif VAROL ALTAY^{1*}, Osman ALTAY²

¹Kırklareli Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, elifvarol@klu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8087-2754

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, Manisa, osman.altay@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3989-2432

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 8 Ekim 2021
Revizyon 15 Aralık 2021
Kabul 27 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Metasezgisel yöntemler, kalite test fonksiyonları, global optimizasyon

ÖZ

Son yıllarda karmaşık, çok modlu, yüksek boyutlu ve doğrusal olmayan arama ve optimizasyon problemleri için birçok metasezgisel optimizasyon algoritması önerilmiştir. Doğada yer alan canlıların sürü davranışları, bitkilerin davranış biçimleri, insanların sosyal davranışları, matematiksel, fiziksel, kimyasal, biyolojik yasalar ve kurallardan ilham alan çok sayıda metasezgisel optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar bazı problemlerde başarı ile sonuç üretirken bazı problemlerde yeterince başarılı sonuç üretememektedir. Önerilen bu algoritmaların performansları problemin yapısına göre değişiklik göstermektedir. Araştırmacılar da bundan dolayı her geçen gün yeni yöntemler önermektedir. Bu çalışmada son zamanlarda ortaya çıkan Cıvık Mantar Optimizasyon Algoritması, Balina Optimizasyon Algoritması, Gri Kurt Optimizasyonu, Harris Şahin Optimizasyonu ve Arşimet Optimizasyon Algoritması tanıtılmış ve bu yöntemlerin performansları 10 adet unimodal, multimodal, hibrit ve composition fonksiyonlarını içeren CEC2020 test fonksiyonlarında karşılaştırılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 October 2021
Received in revised form 15
December 2021
Accepted 27 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Metaheuristic methods, benchmark functions, global optimization

ABSTRACT

In recent years, many metaheuristic optimization algorithms have been proposed for complex, multimodal, high-dimensional, and nonlinear search and optimization problems. There are many metaheuristic optimization algorithms inspired by the swarm behavior of living things in nature, the behavior of plants, the social behavior of humans, mathematical, physical, chemical, biological laws, and rules. While these algorithms produce successful results in certain problems, they cannot produce sufficiently successful results in some problems. Therefore, researchers propose new methods every day. In this study, the recently emerged Slime Mould Optimization Algorithm, Whale Optimization Algorithm, Grey Wolf Optimization, Harris Hawk Optimization, and Archimedes Optimization Algorithm are introduced, and the performances of these methods are 10 unimodal, compared to the CEC2020 test functions, which include multimodal, hybrid and composition functions.

Doi: 10.24012/dumf.1051338

* Sorumlu Yazar

Giriş

Optimizasyon, belirli bir problemin verilen şartlar altında tüm mevcut çözümleri arasından en uygun çözümü bulma sürecidir [1]. Karmaşık sistemler için matematiksel bir model oluşturmak zordur. Model kurulsa bile çok maliyetli olması ve çok zaman almasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Son zamanlarda doğada bulunan olaylardan esinlenen matematiksel araçlar kullanılarak çok sayıda karmaşık doğrusal olmayan optimizasyon problemi çözülmüştür. Bu gibi durumlarda klasik algoritmalar genellikle istenen sonuçları vermeyebilir ve bu nedenle alternatif yöntemler kullanılmalıdır. Metasezgisel optimizasyon yöntemleri; birçok farklı optimizasyon problemini çözmek için yaygın olarak kullanılan, matematiksel modellerin oluşturulmadığı büyük ölçekli arama ve optimizasyon problemleri için kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler üretmesiyle literatürde iyi bilinen bir küresel optimizasyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşım; doğadaki olayları, mekanizmaları veya türlerin sosyal davranışlarını taklit ederek verilen problem için en uygun sonucu bulmayı amaçlamaktadır [2]. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları fizik tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, sürü tabanlı, kimya tabanlı, biyoloji tabanlı, matematik tabanlı, bitki tabanlı, su tabanlı, spor tabanlı ve melez tabanlı olmak üzere 11 farklı kategoride değerlendirilmektedir [3]. Bu kategorilendirme işlemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Bunlardan melez kategorisinde aynı kategori ya da farklı kategorideki yöntemlerin üstün özellikleri kullanılarak çözüm arayışı sağlanmaktadır. Bu kategorilerin içerisinde literatürde yüzlerce algoritma bulunmaktadır.

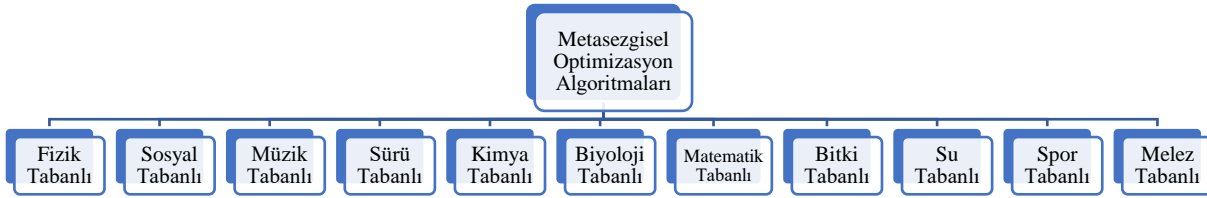
Fizik tabanlı algoritmalar, doğadaki fizik olaylarından esinlenerek ortaya çıkmıştır. En bilinenleri Elektromanyetizma Algoritması [4], Merkezi Kuvvet Optimizasyon Algoritması [5], Yapay Fizik Optimizasyon Algoritması [6], Büyük Çöküş Algoritması [7], Galaksi Tabanlı Algoritmalar [8], Su Döngüsü Algoritması [9], Ücretlendirilmiş Sistem Arama Algoritması [10]'dır. Sosyal tabanlı algoritmalar, insan davranışlarından, insan öğrenme mekanizmasından ve halkın sosyal durumu ile ilişkili pek çok özellikten esinlenerek ortaya çıkmış algoritmalar. Emperyalist Yarışmacı Algoritması [11], Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması [12], Parlamento Optimizasyon Algoritması [13], Sosyal Duygusal Optimizasyon Algoritması [14], Beyin Fırtınası Optimizasyonu [15], Grup Liderleri Optimizasyon Algoritması [16], Sosyal Taklit Algoritma [17], Sosyal Tabanlı Algoritma [18] sosyal tabanlı algoritmalar bazılarısıdır. Bu yöntemlerin performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır [19].

Sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları kuş, balık, arı gibi sürü halinde yaşayan hayvan topluluklarının hareketlerinden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Bu algoritmalar en bilinenleri Parçacık Sürü Optimizasyonu [20], Karınca Kolonisi Algoritması [21], Yapay Arı Kolonisi

[22]'dir. Kimya tabanlı algoritmalar, doğadaki kimyasal olaylardan esinlenerek ortaya çıkmış algoritmalar. Yapay Atom Algoritması [23], Yapay Kimyasal Tepkime Optimizasyon Algoritması [24] kimya tabanlı algoritmalar. Biyoloji tabanlı algoritmalar doğadaki canlıların hareketlerinden esinlenerek ortaya çıkmış algoritmalar. Genetik Algoritma [25], Bakteriyel Besin Arama Optimizasyon Algoritması [26], Diferansiyel Gelişim Algoritması [27] en bilinen biyoloji tabanlı algoritmalar. Matematik tabanlı algoritmalar, meta-sezgisel ve matematik programlama tekniklerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş algoritmalar. Bu algoritmaların amacı meta-sezgisel algoritmalardeki yerel arama işlemlerinin matematiksel teknikler aracılığıyla daha verimli hale gelmesini sağlamaktır. Temel Optimizasyon Algoritması [28], Sinüs-Kosinüs Algoritması [29] matematik tabanlı yöntemlerdir.

Bitki tabanlı algoritmalar, bitki istihbaratından esinlenerek ortaya çıkmış algoritmalar. Fidan Yetiştirme Algoritması [30], Koşucu Kök Algoritması [31], Yol Planlama Algoritması [32], Köklü Ağaç Optimizasyonu [33] bitki tabanlı yöntemlerdir. Su tabanlı algoritmalar, suların akıllı hareketleri esnasında ilham kaynağı olarak önerilmiştir. Su Akışı Algoritması [34], Su Döngüsü Algoritması [35], Su Buharlaştırma Optimizasyonu [36], Simüle Edilmiş Yağmur Damlası Algoritması [37] su tabanlı yöntemlerdir. Spor tabanlı algoritmalar ise Lig Şampiyonası Algoritması [38], Futbol Ligi Optimizasyonu [39], Futbol Oyunu Optimizasyonu [40], Futbol Ligi Yarışması [41], Altın Top Algoritması [42]'dir. Müzik tabanlı algoritmalar Harmoni Arama Algoritması [43], Melodi Arama Algoritması [44], Müzik Besteleme Algoritması [45]'dir. Bu yöntemlerin performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır [46, 47].

Farklı metasezgisel algoritmaların problemin çözümüne yaklaşımları farklı olmasına rağmen hepsinin arama uzayında iki aşaması vardır. Bunlar keşif aşaması ve sömürü aşamasıdır. Keşif aşaması, çözüm uzayını olabildiğince geniş, rastgele ve global olarak arama sürecini ifade ederken, sömürü aşaması algoritmanın keşif aşamasıyla elde edilen alanda daha doğru arama yapabilme yeteneğini ifade etmektedir ve kesinliği artarken rastgeleliği azalmaktadır. Algoritmanın keşif yeteneği baskın olduğunda, çözüm uzayını daha rastgele arayabilir ve hızlı bir şekilde yakınsamak için daha farklılaştırılmış çözüm kümeleri üretebilir. Algoritmanın sömürü yeteneği baskın olduğunda, çözüm kümelerinin kalitesini ve kesinliğini artırmak için daha yerel olarak arama yapmaktadır. Ancak, keşif yeteneği iyileştirilmesi ile sömürü yeteneği ters orantılı olarak düşüş yaşayabilmektedir. Bu iki yeteneğin dengesinin farklı problemlerle aynı olmaması zor bir problemdir. Bu nedenle, tüm optimizasyon problemleri için verimli olan iki aşama arasında uygun bir denge elde etmek zordur.



Şekil 1. Metasezgisel optimizasyon algoritmalarının kategorilendirilmesi

Tüm optimizasyon problemlerini verimli bir şekilde çözmek için kullanılabilecek en iyi optimizasyon algoritması yoktur. Bu no free lunch teoremi ile mantıksal olarak kanıtlanmıştır [48]. Bu teorem çok sayıda araştırmacıyı yeni bir algoritma tasarlamaya motive etmiştir. Ancak son zamanlarda çok fazla sayıda yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntemlerden hangilerinin hangi alanlarda iyi olduğu ile alakalı çalışmalar pek bulunmamaktadır. Bu çalışma ile son zamanlarda önerilen ve popüler olan beş yöntem CEC2020 test fonksiyonlarından 10 tanesi seçilerek karşılaştırılmıştır. Bu seçilen fonksiyonların türleri farklıdır. Bunun nedeni de optimizasyon algoritmalarının farklı yeteneklerinin birbirleri ile farklı türdeki problemlerde karşılaştırılarak daha iyi karşılaştırma sonuçları elde edebilmektir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde güncel metasezgisel yöntemlerden Cıvık Mantar Optimizasyon (CMO) Algoritması, Balina Optimizasyon Algoritması (BOA), Gri Kurt Optimizasyonu (GKO), Harris Şahin Optimizasyonu (HŞO) ve Arşimet Optimizasyon Algoritması (AOA) çalışma prensipleri açıklanmıştır ve sözde kodları verilmiştir. Üçüncü bölümde CEC2020 test fonksiyonlarından seçilen 10 farklı fonksiyon açıklanmıştır ve CMO, BOA, GKO, HŞO ve AOA yöntemlerinin performansları CEC2020 test fonksiyonları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlar kısmını yer almaktadır.

Güncel Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Bu bölümde son zamanlarda ortaya çıkmış ve popüler olan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden CMO, BOA, GKO, HŞO ve AOA'nın esin kaynakları, çalışma prensipleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır ve sözde kodları verilmiştir.

Cıvık Mantar Optimizasyon (CMO) Algoritması

Li ve arkadaşları [49] gıdaları bağlamak için en uygun yolu elde etmede cıvık mantarın davranışlarından esinlenerek yeni bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. İlk olarak CMO yiyecek ararken, yiyeceğe ulaşmak için havadaki kokuyu kullanmaktadır. Bu davranış matematiksel olarak Denklem 1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}_b(t) + \vec{vb} \cdot (\vec{W} \cdot \vec{X}_A(t) - \vec{X}_B(t)), r < p \\ \vec{vc} \cdot \vec{X}(t), r \geq p \end{cases} \quad (1)$$

$$a = \arctanh\left(-\left(\frac{t}{\max_t}\right) + 1\right) \quad (2)$$

\vec{vb} , $[a, -a]$ arasında rastgele üretilmektedir. \vec{vc} , 1'den 0'a lineer bir şekilde azalmaktadır. t mevcut iterasyon sayısını, \max_t maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. \vec{X}_b , şimdiye kadar bulunan en yüksek koku konsantrasyonuna

sahip konumu içeren vektörü, $\vec{X}(t+1)$ mevcut cıvık mantarın aldığı bir sonraki pozisyonu, $\vec{X}(t)$ cıvık mantarın mevcut konumunu $\vec{X}_A(t)$ ve $\vec{X}_B(t)$ popülasyondan rastgele seçilen iki bireyin konumunu içeren iki vektörü temsil etmektedir. r 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. \vec{W} , cıvık mantarın ağırlığını tanımlamaktadır ve Denklem (3)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vec{W}(\text{SmellIndex}(i)) = \begin{cases} 1 + r \cdot \log\left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1\right), \text{condition} \\ 1 - r \cdot \log\left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1\right), \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{SmellIndex} = \text{sort}(S) \quad (4)$$

bF ve wF sırasıyla mevcut iterasyon içindeki en iyi ve en kötü uygunluk değerini temsil ederken, SmellIndex sıralanan uygunluk değerlerinin sırasını ifade etmektedir. $S(i)$, popülasyonun ilk yarısının sıralarını göstermektedir. p parametresi Denklem (5)'teki gibi modellenmektedir.

$$p = \tanh|S(i) - DF| \quad (5)$$

$i \in 1, 2, 3, \dots, n$ $S(i)$ \vec{X} 'in uygunluğunu temsil ederken DF tüm iterasyonlarda elde edilen en iyi uygunluk değerini temsil etmektedir.

İkinci aşama olan yiyecekleri sarma aşamasında, arama sırasında cıvık mantarının venöz doku yapısının kasılma modunu matematiksel olarak simüle etmektedir. Kap ile temas eden gıdanın konsantrasyonu biyo-osilatör tarafından üretilen dalga boyu ile doğru orantılıdır. Böylece dalga boyu ne kadar yüksek olursa, sitoplazma o kadar hızlı ve kapta o kadar kalın olmaktadır. Ağırlık, gıda konsantrasyonuna göre değişmektedir. Ağırlık düşük olduğunda, cıvık mantar diğer alanları keşfetme eğiliminde olmaktadır. Cıvık mantarın yerini güncellemek için matematiksel formül ve denklem Denklem (6)'da verilmiştir.

$$\vec{X}^* = \begin{cases} \text{rand} \cdot (UB - LB) + LB, \text{rand} < z \\ \vec{X}_b(t) + \vec{vb} \cdot (\vec{W} \cdot \vec{X}_A(t) - \vec{X}_B(t)), r < p \\ \vec{vc} \cdot \vec{X}(t), r \geq p \end{cases} \quad (6)$$

UB ve LB , problemin arama uzayının üst ve alt sınırlarıdır. z , CMO'nun başka bir besin kaynağı arayacağını veya mevcut en iyi kaynak çevresinde arama yapacağını belirlemek için kullanılan bir olasılıktır. \vec{W} , \vec{vb} ve \vec{vc} venöz genişlik değişimini taklit etmek için kullanılmaktadır. CMO'nun sözde kodları Algoritma 1'de gösterilmiştir.

Algoritma 1. CMO'nun sözde kodu

Cıvık mantarın başlangıç popülasyonunun ayarlanması

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

while ($t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$)

Her bir arama ajanının uygunluk değerini hesapla

$bestFitness$, X_b parametrelerini güncelle

W (bireyin konumu) değerini hesapla

for her bir arama bölümü

p, vb, vc değerlerini güncelle

Cıvık mantarın konumunu Denklem (6)'ya göre güncelle

end for

$t = t + 1$

end while

return $bestFitness$, X_b

Balina Optimizasyon Algoritması (BOA)

Mirjalili ve Lewis [50] kambur balinaların sosyal davranışlarını taklit eden ve doğadan ilham alan yeni bir metasezgisel yöntem önermişlerdir. Bu balinalar hareket ederek avını sarmal bir şekilde çevrelemektedir ve saldırırken küçülen bir daire içinde avına doğru hareket etmektedir. Bu davranışa kabarcık yeni yiyecek arama denir. Bu avlanma mekanizması BOA içinde, bir sarmal model ile %50 olasılıkla küçülen, çevreleyen bir av arasında bir değiş tokuş yaparak optimizasyon süreci içinde yeni bir çözüm üretmek için taklit edilmektedir. Çemberleme mekanizması aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (7)$$

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (8)$$

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (9)$$

$$\vec{a} = 2 - 2 \frac{t}{\max_t} \quad (10)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (11)$$

t mevcut iterasyon sayısını, \max_t maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. \vec{A} ve \vec{C} katsayı vektörleridir, \vec{X}^* şimdiye kadar elde edilen en iyi çözümün konum vektörüdür. \vec{X} konum vektörüdür, \vec{r} 0 ile 1 arasında üretilen rastgele bir sayı, \vec{a} 2'den 0'a doğru lineer bir şekilde azalan bir sayıdır ve mesafe kontrol parametresidir. Kambur balinaların sarmal şeklindeki hareketini taklit etmek için balina ve avın konumu arasında Denklem (12)'deki gibi bir spiral denklem oluşturulmaktadır.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (12)$$

$$\vec{D}' = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (13)$$

\vec{D}' i . balinanın ava olan mesafesini gösterir, b logaritmik spiralın şeklini tanımlamak için bir sabittir, l [-1, 1] aralığında rastgele bir sayıdır. Şimdiye kadarki en iyi çözüm, yerel bir minimum problem olabilir, bu nedenle optimizasyon süreci içinde tamamen buna odaklanmak, bahsedilen herhangi bir faydalı arama sürecini boşa harcayabilir. Bu nedenle, başka bir konum için balina araması, mevcut balınayı daha iyi bir çözüm bulmaya doğru hareket ettirmek için popülasyondan

rastgele bir balina seçerek avı arama alanı içinde bulunabilir. Spesifik olarak eğer $A < 1$ ise mevcut balina, popülasyondan rastgele seçilen bir balınaya göre yönlendirilmektedir. Bu keşif aşamasının matematiksel modeli aşağıdaki denklemler gibidir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (14)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (15)$$

Burada \vec{X}_{rand} popülasyondan rastgele seçilen bir konum vektörüdür. BOA'nın sözde kodları Algoritma 2'de gösterilmiştir.

Algoritma 2. BOA'nın sözde kodları

Balinaların başlangıç popülasyonunun ayarlanması

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

Her bir arama ajanının uygunluk değerini hesapla

X^* = en iyi arama ajanı

while ($t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$)

for her bir arama ajanı

a, A ve C, l ve p parametrelerini güncelle

if ($p < 0.5$)

if ($|A| < 1$)

Denklem (8)'e göre arama ajanının konumunu güncelle

else if ($|A| \geq 1$)

Rastgele bir arama ajanı seç X_{rand}

Denklem (15)'e göre arama ajanının

konumunu güncelle

end if

else if ($p \geq 0.5$)

Denklem (12)'ye göre arama ajanının konumunu güncelle

end if

end for

Her nesneyi değerlendir ve en iyi uygunluk değerine sahip olanı seç

X^* değerini güncelle

$t = t + 1$

end while

return X^*

Gri Kurt Optimizasyonu (GKO)

Mirjalili ve arkadaşları [51] doğadaki gri kurtların avlanma davranışlarından ve sosyal liderliğinden ilham alarak yeni bir metasezgisel optimizasyon algoritması önermişlerdir. GKO'da diğer metasezgisel algoritmalara benzer şekilde bir dizi rastgele aday çözüm üretmek optimizasyon sürecini başlatmaktadır. Her iterasyonda en iyi üç aday çözüm, arama uzayının gelecek vaat eden bölgelerine öncülük eden alfa, beta ve delta kurt olarak kabul edilmektedir. Geri kalan gri kurtlar omega olarak kabul edilmektedir. Temel olarak üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar kuşatma, avlanma ve avına saldırıdır. Daha iyi çözümler bulma umuduyla omega kurtlar; alfa, beta ve deltayı çevrelemeleri gerekmektedir. Omega kurtların matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$D = |C \times X_p(t) - X(t)| \quad (16)$$

$$X(t + 1) = X_p(t) - A \times D \quad (17)$$

Burada X_p avın konumunu, X gri kurdun konum vektörünü, t ise mevcut iterasyon sayısını temsil etmektedir. C ve A katsayı vektörleridir. Denklem (18) ve Denklem (19)'daki gibi hesaplanmaktadır:

$$A = 2 \times A \times r_1 - a(t) \quad (18)$$

$$C = 2 \times r_2 \quad (19)$$

Burada r_1 ve r_2 0 ile 1 arasında rastgele vektörlerdir ve a vektörü iterasyonlar boyunca 2'den 0'a doğru lineer bir şekilde Denklem (20)'deki gibi azalmaktadır.

$$a(t) = 2 - (2 \times t) / \text{MaxIter} \quad (20)$$

Kurtların avlanma davranışlarını matematiksel olarak modellemek için alfa, beta ve deltanın konumu hakkında daha iyi bir bilgiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle her bir omega kurtu alfa, beta ve deltanın konumunu dikkate alarak takip etmek zorundadır. Denklem (21)'de avlanma davranışı açıklanmıştır:

$$\begin{aligned} D_\alpha &= |C_1 \times X_\alpha - X(t)| \\ D_\beta &= |C_2 \times X_\beta - X(t)| \\ D_\delta &= |C_3 \times X_\delta - X(t)| \end{aligned} \quad (21)$$

Burada C_1 , C_2 ve C_3 Denklem (19) ile hesaplanır. alfa, beta ve deltanın konumu Denklem 22'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} X_{i1}(t) &= X_\alpha(t) - A_{i1} \times D_\alpha(t) \\ X_{i2}(t) &= X_\beta(t) - A_{i2} \times D_\beta(t) \\ X_{i3}(t) &= X_\delta(t) - A_{i3} \times D_\delta(t) \end{aligned} \quad (22)$$

$$X(t + 1) = \frac{X_{i1}(t) + X_{i2}(t) + X_{i3}(t)}{3} \quad (23)$$

Mirjalili ve arkadaşları A ve C parametrelerinin GKO algoritmasını arama uzayını keşfetmeye ve kullanmaya mecbur bıraktıklarını savunmaktadırlar. İterasyonların yarısı keşfetme aşaması için geri kalanı ise sömürü aşaması için ayrılmıştır. C parametresi optimizasyon süresince yerel optimum durgunluğu çözmek için rastgele seçilmektedir. GKO'nun sözde kodları Algoritma 3'te gösterilmiştir.

Algoritma 3. GKO'nun sözde kodları

Gri kurtların başlangıç popülasyonunun ayarlanması

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

a , A ve C parametrelerine ilk değerlerin verilmesi

Her bir arama ajanının uygunluk değerini hesapla

X_α =en iyi arama ajanı

X_β =en iyi ikinci arama ajanı

X_δ =en iyi üçüncü arama ajanı

while ($t <$ maksimum iterasyon sayısı)

for her bir arama ajanı

Mevcut arama ajanının konumunu güncelle

end for

a , A ve C parametrelerini güncelle

Tüm arama ajanlarının uygunluğunu hesapla

X_α , X_β , X_δ değerlerini güncelle

$t = t + 1$

end while

return X_α

Harris Şahin Optimizasyonu (HŞO)

Heidari ve arkadaşları [52] Harris şahinlerinin davranışlarından ve avcılık modelinden esinlenen popülasyon tabanlı metasezgisel bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. HŞO optimal çözümleri bulmak için karmaşık arama uzaylarını keşfedebilen stokastik bir algoritmadır. HŞO'nun temel adımları, çeşitli enerji durumlarına göre elde edilebilmektedir. Keşif aşaması, Harris şahininin avı doğru bir şekilde izleyemediği durumlardaki mekanizmayı simüle eder. Böyle bir durumda şahinler yeni avın izini sürmek ve bulmak için ara verirler. HŞO yönteminde aday çözümler şahinlerdir ve her adımda en iyi çözüm avdır ($X_{rabbitt}$). Şahinler rastgele farklı konumlara yerleşirler ve Denklem (24)'te verilen q olasılığına göre seçilen iki operatör kullanarak avlarını beklerler. $q < 0.5$ olduğunda şahinlerin diğer popülasyon üyelerinin ve avın (örneğin tavşan) bulunduğu yere yerleştiğini göstermektedir. $q \geq 0.5$ olduğu durumlarda şahinler popülasyon aralığında rastgele konumlardadır. Keşif aşaması Denklem (24)'teki gibidir.

$$X(t + 1) = \begin{cases} X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)|, & q \geq 0.5 \\ (X_{rabbitt}(t) - X_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)), & q < 0.5 \end{cases} \quad (24)$$

$X(t + 1)$ t . iterasyondaki şahinlerin konum vektörüdür. $X_{rabbitt}$, avın en iyi konumunu, $X(t)$ şahinlerin mevcut konum vektörünü, r_1 , r_2 , r_3 , r_4 ve q değerleri 0 ile 1 arasında rastgele sayılardır ve her iterasyonda güncellenmektedir. LB ve UB değişkenlerin üst ve alt sınırlarını, $X_{rand}(t)$ mevcut popülasyondan rastgele seçilmiş bir şahin, X_m mevcut şahin popülasyonunun ortalama konumunu temsil etmektedir ve Denklem (25)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$X_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t) \quad (25)$$

Burada $X_i(t)$ t . iterasyondaki her şahinin konumunu, N toplam şahin sayısını temsil etmektedir. Keşiften sömürüye iyi bir geçiş gereklidir, burada avın kaçış davranışı sırasında önemli ölçüde azalan enerji faktörüne dayanan farklı simüle edilmiş sömürü davranışlar arasında bir geçiş olması beklenmektedir. Avın enerjisi Denklem (26)'daki gibi modellenmiştir.

$$E = 2E_0 \left(1 - \frac{t}{\max_t}\right) \quad (26)$$

Burada E avın kaçan enerjisini, E_0 enerjinin ilk durumunu, t mevcut iterasyon sayısını, \max_t maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. HŞO'da E_0 her iterasyonda (-1,1) aralığı arasında rastgele değişmektedir. E_0 değeri 0'dan -1'e düştüğü zaman tavşan fiziksel olarak işaretlenirken, E_0 değeri 0'dan 1'e yükseldiği zaman tavşan (av) güçleniyor demektir. Dinamik kaçış enerjisi E iterasyonlar sırasında azalan bir eğilime sahiptir. Kaçan enerji $|E| \geq 1$ olduğunda şahinler bir tavşanın yerini keşfetmek için farklı bölgeleri aramaktadır dolayısıyla HŞO keşif aşamasını gerçekleştirmektedir ve $|E| < 1$ olduğu zaman algoritma sömürü aşaması boyunca çözümlerin komşuluğundan yararlanmaya çalışmaktadır. Kısacası $|E| \geq 1$ olduğu zaman keşif aşaması $|E| < 1$ olduğu zaman ise sömürü aşaması gerçekleşmektedir. p eşit koşullar altında değerlendirildiğinde $p \geq 0.5$ olduğu durumlar başarılı $p <$

0.5 olduğu durum başarısız olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca avcının (tavşan) enerjisine bağlı olarak şahinler $|E| \geq 0.5$ olduğunda yumuşak $|E| < 0.5$ olduğunda sert bir kuşatma gerçekleştirecektir. Yumuşak kuşatma denklemleri aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$X(t+1) = \Delta X(t) - E|J \cdot X_{rabbitt}(t) - X(t)| \quad (27)$$

$$\Delta X(t) = X_{rabbitt}(t) - X(t) \quad (28)$$

$$J = 2(1 - rand) \quad (29)$$

$\Delta X(t)$ şahin ve tavşanın pozisyonları arasındaki farktır. Tavşanın rastgele atlama gücü J , rastgele bir sayı kullanılarak çizilmektedir. Sert kuşatma denklemi Denklem (30)'daki gibidir.

$$X(t+1) = X_{rabbitt}(t) - E|\Delta X(t)| \quad (30)$$

$p < 0.5$ ve $|E| \geq 0.5$ olduğu durumlarda tavşan başarıyla hücum edebildiğinden aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma yapar. Şahin mümkün olan en iyi dalışı seçmektedir. Levy flight avın birbirini takip etmesinde kullanılmaktadır. Dalışın iyi olup olmadığına karar vermek için de şahinin bir sonraki hareketi aşağıdaki denklemler kullanılarak tahmin edilmektedir.

$$Y = X_{rabbitt}(t) - E|J \cdot X_{rabbitt}(t) - X(t)| \quad (31)$$

Önceki dalış faydalı değilse şahin Levy flight modelini kullanarak dalış yapmaktadır. Kullandığı model Denklem (32)'deki gibidir:

$$Z = Y + S \times LF(D) \quad (32)$$

Burada D problemin boyutudur ve S $1 \times D$ boyutunda rastgele bir vektördür. Levy flight fonksiyonu (LF) Denklem (33) kullanılarak hesaplanan yük uçuş fonksiyonudur.

$$LF(x) = 0.001 \times \frac{u \times \sigma}{|v|^\beta}, \quad \sigma = \left(\frac{r(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{r\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (33)$$

Burada u ve v ile 1 arasında rastgele değerlerdir β 1.5 olan bir sabittir. Bu nedenle şahinlerin pozisyonlarını güncellemek için son strateji yumuşak kuşatma aşaması Denklem (34) ile gerçekleştirilmektedir.

$$X(t+1) = \begin{cases} Y, & \text{if } F(Y) < F(X(t)) \\ Z, & \text{if } F(Z) < F(X(t)) \end{cases} \quad (34)$$

$p < 0.5$ ve $|E| < 0.5$ olduğu durumlarda tavşanın kaçmak için yeterli enerji yoktur ve avı yakalamak ve öldürmek için sürpriz saldırıdan önce sert bir kuşatma yapmaktadır. Burada yumuşak kuşatma gibi Denklem (32) ve Denklem (34) aynıdır. Y değerinin hesaplanması farklıdır. Y değerinin denklemi Denklem (35)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$Y = X_{rabbitt}(t) - E|J \cdot X_{rabbitt}(t) - X_m(t)| \quad (35)$$

HŞO'nun sözde kodları Algoritma 4'te gösterilmiştir.

Algoritma 4. HŞO'nun sözde kodu

Şahinlerin başlangıç popülasyonunun ayarlanması

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

while ($t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$)

Her bir arama ajanının uygunluk değerini hesapla

$X_{rabbitt}$ 'i avın en iyi konum olarak ayarla

for her bir arama ajanı

E_0 ve j parametrelerini güncelle

Denklem (26)'da kullanılan E değerini güncelle

if ($|E| \geq 1$)

Denklem (24)'ü kullanarak konum vektörünü güncelle

end if

if ($|E| < 1$)

if ($p \geq 0.5$ ve $|E| \geq 0.5$)

Denklem (27)'yi kullanarak konum vektörünü güncelle

else if ($p \geq 0.5$ ve $|E| < 0.5$)

Denklem (30)'u kullanarak konum vektörünü güncelle

else if ($p < 0.5$ ve $|E| \geq 0.5$)

Denklem (34)'ü kullanarak konum vektörünü güncelle

else if ($p < 0.5$ ve $|E| < 0.5$)

Denklem (34)'ü kullanarak konum vektörünü güncelle

end if

end if

$t = t + 1$

end while

return $X_{rabbitt}$

Arşimet Optimizasyon Algoritması (AOA)

Hashim ve arkadaşları [53] fizik kanunu olan Arşimet Prensibinden ilham alarak yeni bir metasezgisel algoritma önermişlerdir. Kısmen veya suya batırılmış bir nesneye yukarı doğru uygulanan kaldırma kuvveti ilkesinden yola çıkarak oluşturulmuştur. Diğer popülasyon tabanlı metasezgisel algoritmalar gibi, AOA da rastgele hacimler, yoğunluklar ve ivmelerle nesnelerin ilk popülasyonu (aday çözümler) ile arama sürecini başlatmaktadır. Bu aşamada, her nesne aynı zamanda sıvı içindeki rastgele konumu ile başlatılır. Başlangıç popülasyonunun uygunluğunu değerlendirdikten sonra, AOA, sonlandırma koşulu sağlanana kadar çalışır. Her iterasyonda AOA, her nesnenin yoğunluğunu ve hacmini güncellemektedir. Nesnenin ivmesi, herhangi bir komşu nesneyle çarpışmasının durumuna göre güncellenmektedir. Güncellenen yoğunluk, hacim, ivme bir nesnenin yeni konumunu belirlemektedir. Nesnelerin yoğunluk ve hacimlerinin güncelleme denklemi Denklem (36)'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} den_i^{t+1} &= den_i^t + rand \times (den_{best} - den_i^t) \\ vol_i^{t+1} &= vol_i^t + rand \times (vol_{best} - vol_i^t) \end{aligned} \quad (36)$$

Burada den_{best} ve vol_{best} , şimdiye kadar bulunan en iyi nesneye ilişkin yoğunluk ve hacim, $rand$ eşit olarak dağıtılmış rastgele sayıdır. Nesnelere arasında çarpışma

meydana gelmektedir ve bir süre sonra nesnelere denge durumuna ulaşmaya çalışmaktadır. Aramayı keşiften sömürüye dönüştüren transfer operatörü TF 'nin yardımıyla AOA'ya entegre edilmektedir. TF 'nin formülü Denklem (37)'de verilmiştir.

$$TF = \exp\left(\frac{t - \max_t}{\max_t}\right) \quad (37)$$

Burada TF 1'e ulaşana kadar zamanla kademeli olarak artmaktadır. t iterasyon sayısını \max_t maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. Benzer şekilde yoğunluğu azaltıcı faktör olan d , küreselden yerel aramada AOA'ya yardımcı olmaktadır. Formülü Denklem (38)'deki gibidir.

$$d^{t+1} = \exp\left(\frac{\max_t - t}{\max_t}\right) - \left(\frac{t}{\max_t}\right) \quad (38)$$

d^{t+1} önceden belirlenmiş umut verici bölgede yakınsama yeteneği vererek zamanla azalmaktadır. Bu değişken AOA'da keşif ve sömürü arasındaki dengeyi sağlamaya çalışmaktadır. $TF \leq 0.5$ ise, nesnelere arasında çarpışma meydana gelmektedir ve rastgele bir malzeme (m) seçmek gerekmektedir ve Denklem (39) kullanılarak nesnenin ivmesi güncellenmektedir.

$$acc_i^{t+1} = \frac{den_m + vol_m \times acc_m}{den_i^{t+1} \times vol_i^{t+1}} \quad (39)$$

Burada den_i, vol_i, acc_i i . nesnenin yoğunluğu, hacmi ve ivmesidir. den_m, vol_m, acc_m rastgele malzemenin yoğunluğu, hacmi ve ivmesidir. $TF > 0.5$ ise, nesnelere arasında çarpışma yoktur ve Denklem (40) kullanılarak nesnenin ivmesi güncellenmektedir.

$$acc_i^{t+1} = \frac{den_{best} + vol_{best} \times acc_{best}}{den_i^{t+1} \times vol_i^{t+1}} \quad (40)$$

acc_{best} en iyi nesnenin ivmesidir. Denklem (41)'i kullanarak değişim yüzdesini hesaplamak için ivmeyi normalleştirme gerekmektedir.

$$acc_{i-norm}^{t+1} = u \times \frac{acc_i^{t+1} - \min(acc)}{\max(acc) - \min(acc)} + 1 \quad (41)$$

Burada u ve l normalizasyon aralığıdır ve 0.9 ve 0.1'e ayarlanmıştır. acc_{i-norm}^{t+1} her nesnenin değiştireceği adım yüzdesini belirlemektedir. i nesnesi küresel optimumdan uzakta hızlanma değeri yüksek olacaktır. Yani nesne keşif aşamasında olacaktır aksi takdirde sömürü aşamasında olacaktır. Böylece aramanın keşif aşamasından sömürü aşamasına nasıl dönüştüğü görülmektedir. Normal durumda ivme vektörü büyük bir değerle başlamaktadır ve zamanla azalmaktadır. Bu sayede nesnelere küresel en iyi çözüme doğru ilerlemesine ve aynı zamanda yerel çözümlerden uzaklaşmasına yardımcı olmaktadır. $TF \leq 0.5$ (keşif aşaması) ise, i . nesnenin bir sonraki iterasyondaki konumunu güncellediği denklem Denklem (42)'deki gibidir.

$$X_i^{t+1} = X_i^t + C_1 \times rand \times acc_{i-norm}^{t+1} \times d \times (X_{rand} - X_i^t) \quad (42)$$

Burada C_1 sabiti 2 değerine eşittir. $TF > 0.5$ (sömürü aşaması) ise, i . nesnenin bir sonraki iterasyondaki konumunu güncellediği denklem Denklem (43)'teki gibidir.

$$X_i^{t+1} = X_{best}^t + F \times C_2 \times rand \times acc_{i-norm}^{t+1} \times d \times (T \times X_{best} - X_i^t) \quad (43)$$

Burada C_2 sabiti 6 değerine eşittir. T zamanla artmaktadır ve transfer operatörü ile doğru orantılıdır ve $T = C_3 \times TF$ 'dir. T , $[C_3 \times 0.3, 1]$ aralığında zamanla artmaktadır ve başlangıçta en iyi konumdan belirli bir yüzde almaktadır. Arama ilerledikçe, en iyi konum ile mevcut konum arasındaki farkı azaltmak için bu yüzde kademeli olarak artmaktadır. Bu, keşif ve sömürü arasında uygun bir dengenin oluşumunu sağlamaktadır. F , Denklem (44) kullanılarak hareket yönünü değiştiren işarettir.

$$F = \begin{cases} +1, & \text{if } p \leq 0.5 \\ -1, & \text{if } p > 0.5 \end{cases} \quad (44)$$

Burada $p = 2 \times rand - C_4$ ile hesaplanmaktadır. AOA'nın sözde kodu Algoritma 5'te verilmiştir.

Algoritma 5. AOA'nın sözde kodu

Başlangıç popülasyonunun ayarlanması $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

while ($t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$)

Her bir arama ajanının uygunluk değerini hesapla

for her bir arama ajanı

Denklem (36)'yı kullanarak her nesnenin yoğunluğunu ve hacmini güncelle

Denklem (37) ve Denklem (38)'i kullanarak transfer ve yoğunluk azaltıcı faktörleri güncelle

if ($TF \leq 0.5$)

Denklem (39)'u kullanarak ivmeyi güncelle ve Denklem (41)'i kullanarak ivmeyi normalleştir

Denklem (42)'yi kullanarak konumu güncelle **else**

Denklem (40)'ı kullanarak ivmeyi güncelle ve Denklem (41)'i kullanarak ivmeyi normalleştir

Denklem (44)'ü kullanarak yön bayrağını güncelle

Denklem (43)'ü kullanarak konumu güncelle

end if

end for

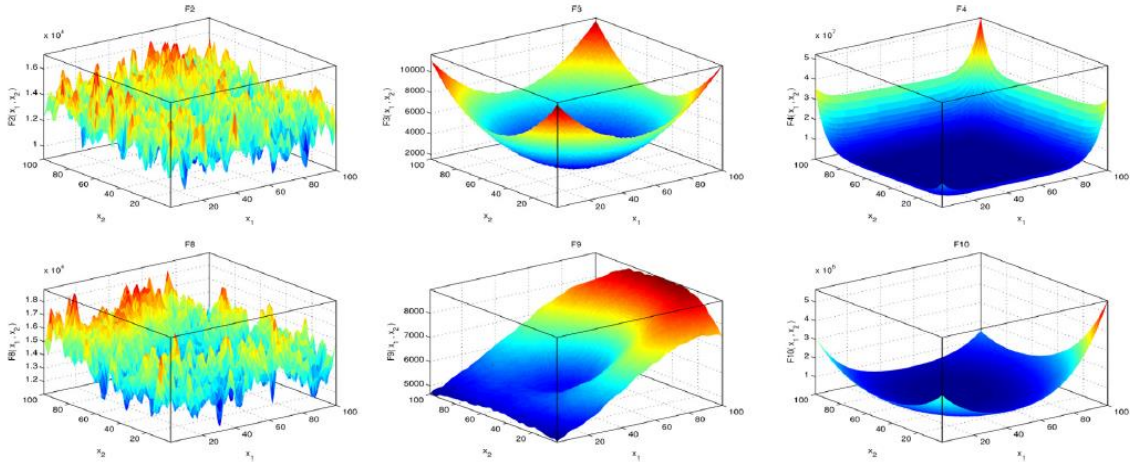
$t = t + 1$

end while

return en iyi uygunluk değeri

Deneysel Sonuçlar

CMO, BOA, GKO, HŞO ve AOA yöntemlerinin performansını analiz etmek için IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) test fonksiyonları seçilmiştir [54]. CEC 2020 test fonksiyonları unimodal, multimodal, hibrit ve composition fonksiyonlarını içeren 10 test fonksiyonunu içermektedir. Unimodal fonksiyonlar, algoritmanın yakınsama performansının ölçülmesi için kullanılırken; multimodal fonksiyonlar algoritmanın erken yakınsama problemlerinin ve yerle takılma sorununun olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [55]. Hibrit ve composition fonksiyonlar ise çok sayıda yerel optimuma sahip olan yerel optimumdan kaçınma yeteneğini ve keşif ve sömürü arasındaki dengeyi değerlendirmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2. Bazı CEC2020 test fonksiyonlarının iki boyutlu görünümü

Tablo 1. CEC2020 test fonksiyonları

No	Fonksiyon adı	Fi*
Unimodal fonksiyon		
F1	Shifted and Rotated Bent Cigar fonksiyonu	100
Multimodal fonksiyon		
F2	Shifted and Rotated Schwefel's fonksiyonu	1100
F3	Shifted and Rotated Lunacek bi-Rastrigin fonksiyonu	700
F4	Expanded Rosenbrock's plus Griewangk's fonksiyonu	1900
Hibrit fonksiyonlar		
F5	Hibrit fonksiyon 1 (N = 3)	1700
F6	Hibrit fonksiyon 2 (N = 4)	1600
F7	Hibrit fonksiyon 3 (N = 5)	2100
Composition fonksiyonlar		
F8	Composition fonksiyon 1 (N = 3)	2200
F9	Composition fonksiyon 2 (N = 4)	2400
F10	Composition fonksiyon 3 (N = 5)	2500

Tablo 1, CEC2020 test fonksiyonlarının özelliklerini göstermektedir. F_i^* fonksiyonun optimal global değerini ifade etmektedir. Şekil 2, her bir problemin doğasının anlaşılmasını kolaylaştırmak için CEC2020 test fonksiyonlarının iki boyutlu bir görselleştirmesini sunmaktadır.

Yapılan tüm deneyler Manisa Celal Bayar Üniversitesi tarafından lisanslı Matlab 2021a platformunda Windows 10 işletim sistemli 32 GB RAM ve CPU of Intel (R) core i9-10900 k (3.7 GHz) işlemcili bilgisayarda yapılmıştır. Bu çalışmada analiz edilen algoritmaların parametreleri Tablo 2'de sunulmuştur. Algoritmaların kontrol parametrelerinin çoğu literatürde kullanılan varsayılan değerlerdir. Eşit koşullar altında adil bir değerlendirme yapabilmek adına değerlendirme sayısı 1000, popülasyon sayısı 30 olarak seçilmiştir. Algoritmalar tüm deneylerde 20 kez

çalıştırılmıştır ve minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerinin sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde Tablo 3'te sunulmuştur. Algoritmaların CEC2020 test fonksiyonları üzerindeki yakınsama performansı da algoritmaların en iyi değerlerine göre Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Karşılaştırma yapılan algoritmaların parametreleri

Algoritma	Parametreler
CMO	$z = 0.03$
BOA	$A1 = [2, 0]; a2 = [-2, -1]; b = 1$
GKO	$a = [2, 0]$
HŞO	$EO \in [-1, 1]; \beta = 1.5$
AOA	$C1 = 2; C2 = 6; u = 0.9; l = 0.1$

Tablo 3 incelendiğinde tüm test fonksiyonlarını değerlendirmeye alırsak; ortalama değer bakımından 10 test fonksiyonunun 7'sinde AOA birinci sırada yer alırken 3 en iyi ortalama sonuçla AOA'yı CMO takip etmektedir. BOA ortalama değerinde 10 test fonksiyonunun hiçbirinde en iyi sonuca ulaşamamıştır. Minimum değer bakımından incelediğimiz zaman AOA ve CMO 10 test fonksiyonunun 5'inde en iyi sonuca ulaşarak üstünlüklerini göstermişlerdir. Bu yöntemleri GKO ve HŞO 3 tanesinde en iyi sonucu vererek takip etmektedir. BOA ise sadece 1 tanesinde en iyi sonuca ulaşabilmiştir.

Unimodal fonksiyonlar algoritmaların sömürü aşamasındaki yeteneklerini araştırmak için kullanılmıştır. Unimodal fonksiyonlarda AOA tüm değerlendirme kriterlerinde en iyi sonuca ulaşmıştır. Buna dayanarak unimodal fonksiyonlarda AOA'nın diğer algoritmalara göre daha üstün olduğunu söyleyebiliriz.

Multimodal fonksiyonlar çok sayıda yerel optimuma sahip olduğu için ve unimodal fonksiyonlara kıyasla problemin boyutu ile tasarım değişkenlerinin sayısı katlanarak arttığı için kullanılmıştır. Bu nedenle bu fonksiyonlar rekabetçi algoritmaların keşif kabiliyetini değerlendirmek için kullanışlıdır. Multimodal fonksiyonlarda minimum değer açısından karşılaştırma yaptığımızda CMO en iyi sonuca ulaşmıştır.

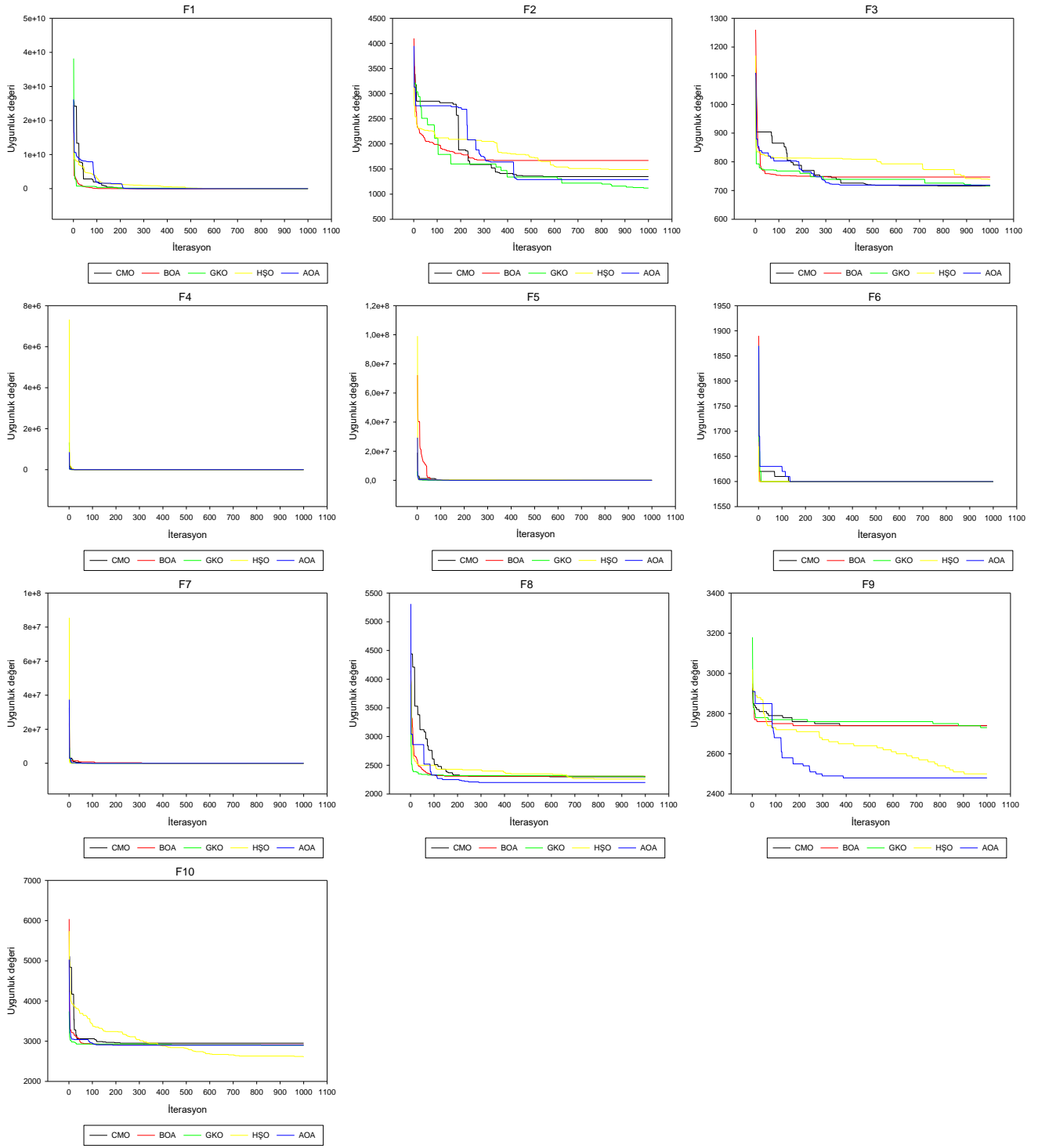
Tablo 3. CEC2020 test fonksiyonlarından elde edilen sonuçlar

Fonksiyon	Metrik	CMO	BOA	GKO	HŞO	AOA
F1	Minimum	1.46E+03	4.77E+05	7.34E+03	3.01E+05	2.06E+02
	Maksimum	1.27E+04	3.43E+07	4.81E+08	1.99E+06	9.72E+03
	Ortalama	8.17E+03	7.17E+06	4.53E+07	6.11E+05	2.64E+03
	Standart sapma	3.59E+03	8.38E+06	1.34E+08	3.88E+05	2.81E+03
F2	Minimum	1.35E+03	1.67E+03	1.12E+03	1.49E+03	1.29E+03
	Maksimum	2.01E+03	2.69E+03	2.47E+03	2.70E+03	2.08E+03
	Ortalama	1.65E+03	2.19E+03	1.56E+03	2.08E+03	1.66E+03
	Standart sapma	2.01E+02	2.78E+02	2.59E+02	2.83E+02	1.97E+02
F3	Minimum	7.16E+02	7.47E+02	7.17E+02	7.39E+02	7.19E+02
	Maksimum	7.43E+02	8.26E+02	7.48E+02	8.26E+02	8.09E+02
	Ortalama	7.28E+02	7.86E+02	7.30E+02	7.88E+02	7.46E+02
	Standart sapma	7.95E+00	2.26E+01	9.01E+00	2.29E+01	1.91E+01
F4	Minimum	1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03
	Maksimum	1.90E+03	1.91E+03	1.98E+03	1.92E+03	1.90E+03
	Ortalama	1.90E+03	1.91E+03	1.91E+03	1.91E+03	1.90E+03
	Standart sapma	4.21E-01	3.20E+00	1.77E+01	4.21E+00	5.25E-01
F5	Minimum	1.72E+03	1.05E+04	2.36E+03	3.69E+03	2.12E+03
	Maksimum	1.92E+04	1.63E+06	5.63E+05	2.18E+05	8.55E+03
	Ortalama	5.96E+03	2.31E+05	5.23E+04	4.95E+04	4.02E+03
	Standart sapma	4.85E+03	3.80E+05	1.38E+05	6.10E+04	2.06E+03
F6	Minimum	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03
	Maksimum	1.60E+03	1.62E+03	1.66E+03	1.63E+03	1.60E+03
	Ortalama	1.60E+03	1.61E+03	1.62E+03	1.62E+03	1.60E+03
	Standart sapma	2.63E-01	7.61E+00	2.28E+01	1.01E+01	2.46E-01
F7	Minimum	2.12E+03	8.35E+03	3.01E+03	3.19E+03	2.20E+03
	Maksimum	2.47E+04	9.43E+05	1.91E+04	3.24E+04	4.05E+03
	Ortalama	9.17E+03	1.28E+05	9.71E+03	1.20E+04	2.63E+03
	Standart sapma	7.36E+03	1.94E+05	4.90E+03	9.15E+03	4.79E+02
F8	Minimum	2.23E+03	2.23E+03	2.30E+03	2.26E+03	2.20E+03
	Maksimum	3.56E+03	4.10E+03	2.33E+03	3.74E+03	3.53E+03
	Ortalama	2.38E+03	2.41E+03	2.31E+03	2.45E+03	2.31E+03
	Standart sapma	2.84E+02	3.89E+02	8.47E+00	4.12E+02	2.81E+02
F9	Minimum	2.74E+03	2.74E+03	2.73E+03	2.50E+03	2.48E+03
	Maksimum	2.78E+03	2.85E+03	2.77E+03	2.90E+03	2.81E+03
	Ortalama	2.76E+03	2.78E+03	2.75E+03	2.76E+03	2.70E+03
	Standart sapma	8.99E+00	2.65E+01	1.18E+01	1.15E+02	1.18E+02
F10	Minimum	2.90E+03	2.91E+03	2.90E+03	2.61E+03	2.90E+03
	Maksimum	2.97E+03	3.04E+03	2.95E+03	2.95E+03	2.95E+03
	Ortalama	2.93E+03	2.95E+03	2.93E+03	2.91E+03	2.93E+03
	Standart sapma	2.65E+01	2.92E+01	1.78E+01	7.12E+01	1.97E+01

Ancak ortalama değer açısından bir değerlendirme yaptığımız zaman hem CMO hem de AOA'nın 3 multimodal fonksiyonun 2'sinde en iyi sonuca ulaştığını söyleyebiliriz. Buna dayanarak multimodal fonksiyonlarda CMO'nun minimum değerinde, CMO ve AOA'nın ortalama değerinde diğer algoritmalarla göre daha üstün olduğu sonucuna varabiliriz.

Hibrit fonksiyonlar çok sayıda yerel optimuma sahip olan yerel optimumdan kaçınma yeteneğini ve keşif ve sömürü

arasındaki dengeyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde minimum değer açısından karşılaştırma yaptığımızda CMO en iyi sonuca ulaşmıştır. Ancak ortalama değer açısından bir değerlendirme yaptığımız zaman AOA 3 hibrit fonksiyonun tamamında en iyi sonuca ulaşmıştır. Buna dayanarak hibrit fonksiyonlarda CMO'nun minimum değerinde, AOA'nın da ortalama değerinde diğer algoritmalarla göre daha üstün olduğu sonucuna varabiliriz.



Şekil 3. CEC2020 test fonksiyonlarda karşılaştırma yapılan yöntemlerin yakınsama performansı

Composition fonksiyonlarda hibrit fonksiyonlar gibi çok sayıda yerel optimuma sahip olan yerel optimumdan kaçınma yeteneğini ve keşif ve sömürü arasındaki dengeyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde ortalama değer açısından karşılaştırdığımızda en iyi sonucu AOA'nın verdiğini söyleyebiliriz.

Sonuçlar

Metasezgisel yöntemler arasında her problemde en iyi performansı gösteren bir algoritma bulunmadığı için araştırmacılar için güncelliğini korumaktadır. Bu yüzden yeni yöntemler önerilmekte ve önerilmeye devam edeceği gözükmektedir. Önerilen yöntemler ile paralel bir şekilde yöntemlerin uygulama alanlarının çoğalması da bu alanın popülerliğini olumlu yönde etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada son yıllarda önerilen ve popüler

olan 5 farklı metasezgisel optimizasyon problemi seçilerek, optimizasyon problemlerinin performanslarının analiz edilmesinde literatürde yer alan CEC fonksiyonlarına uygulanmıştır. CEC fonksiyonları arasından CEC2020 test fonksiyonlarında yer alan metasezgisel optimizasyon algoritmalarının farklı yeteneklerini gösterecek farklı türdeki problemler seçilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar yöntemlerin performanslarının problemin türüne göre değişiklik olabileceğini göstermiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda AOA, genel performans olarak en iyi sonuçları elde ederken onu CMO izlemiştir. Sonuç olarak araştırmacılar problemlerine göre optimizasyon yöntemi seçerken elde edilen sonuçları göz önünde bulundurmaları yani problemlerinin türüne göre en iyi optimizasyon yöntemini seçmeleri gerekmektedir. Bunlara ek olarak, diğer gerçek ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek için farklı kaotik haritalar, ikili ve çok amaçlı yetenekler eklenerek yöntemlerin farklı modifikasyonları gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] B. Bunday, *Basic Optimization Methods*, London: Edward Arnold Ltd, 1984.
- [2] E. V. Altay, B. Alatas, "Bird swarm algorithms with chaotic mapping", *Artificial Intelligence Review*, vol. 53 no. 2, pp. 1373-1414, 2020.
- [3] E. Varol, B. Alataş, "Sürü zekâsında yeni bir yaklaşım: Kuş sürüsü algoritması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 133-146, 2017.
- [4] S. İ. Birbil, S. C. Fang, "An electromagnetism-like mechanism for global optimization", *Journal of global optimization*, vol. 25, no. 3, pp. 263-282, 2003.
- [5] B. Xing, W. J. Gao, "Central force optimization algorithm", In *Innovative Computational Intelligence: A Rough Guide to 134 Clever Algorithms*, Springer International Publishing, pp. 333-337, 2014.
- [6] L. Xie, Y. Tan, J. Zeng, Z. Cui, "Artificial physics optimisation: a brief survey", *International Journal of Bio-Inspired Computation*, vol. 2, no. 5, pp. 291-302, 2010.
- [7] M. Kripka, R. M. L. Kripka, "Big crunch optimization method", In *International conference on engineering optimization*. Brazil, 2008, pp. 1-5.
- [8] H. Shah-Hosseini, "Principal components analysis by the galaxy-based search algorithm: a novel metaheuristic for continuous optimisation", *Int. J. Computational Science and Engineering*, vol. 6, pp. 132-140, 2011.
- [9] H. Eskandar, A. Sadollah, A. Bahreininejad, M. Hamdi, "Water cycle algorithm—a novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems", *Comput. Struct.*, vol. 110, pp. 151–166, 2012.
- [10] B. Xing, W. J. Gao, "Charged system search algorithm", In *Innovative Computational Intelligence: A Rough Guide to 134 Clever Algorithms*, Springer International Publishing, 2014, pp. 339-346.
- [11] E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", In *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2007, pp. 4661-4667.
- [12] R. V. Rao, V. Patel, "An improved teaching-learning-based optimization algorithm for solving unconstrained optimization problems", *Scientia Iranica*, vol. 20, no. 3, pp. 710–720, 2013.
- [13] A. Borji, M. Hamidi, "A new approach to global optimization motivated by parliamentary political competitions", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 5 no. 6, pp. 1643-1653, 2009.
- [14] Z. Cui, Z. Shi, J. Zeng, "Using social emotional optimization algorithm to direct orbits of chaotic systems", *International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*, Springer, 2010, pp. 389-395
- [15] Y. Shi, "Brain storm optimization algorithm", In *International Conference in Swarm Intelligence*, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 303-309.
- [16] A. Daskin, S. Kais, "Group leaders optimization algorithm", *Molecular Physics*, vol. 109, no. 5, pp. 761-772, 2011.
- [17] S. Balochian, H. Baloochian, "Social mimic optimization algorithm and engineering applications", *Expert Systems with Applications*, vol. 134, pp. 178-191, 2019.
- [18] F. Ramezani, S. Lotfi, "Social-based algorithm (SBA)", *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 2837-2856, 2013.
- [19] E. V. Altay, B. Alatas, "Performance comparisons of socially inspired metaheuristic algorithms on unconstrained global optimization", In *Advances in Computer Communication and Computational Sciences*, Springer, Singapore, 2019, pp. 163-175.
- [20] J. Kennedy, R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ. Nov/Dec 1995, pp. 1942-1948.
- [21] M. Dorigo, T. Stützle, "Ant colony optimization", MIT Press, Cambridge, 2004.
- [22] D. Karaboga, B. Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm", *J. Global Optim.*, vol. 39, pp. 459-171, 2007.
- [23] A. Karcı, "A new metaheuristic algorithm based chemical process: Atom Algorithm", 1st

- International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications, 2012, pp. 03-07.
- [24] B. Alataş B., “ACROA: Artificial chemical reaction optimization algorithm for global optimization”, *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no.10, pp. 13170–13180, 2011.
- [25] D. E. Goldberg, “Genetic algorithm in search: optimization and machine learning”, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 1989.
- [26] K. M. Passino, “Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control”, *IEEE control systems magazine*, vol. 22, no. 3, pp. 52–67, 2002.
- [27] R. Storn, K. Price, “Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces”, *Journal of global optimization*, vol. 11, no. 4, pp. 341–359, 1997.
- [28] S. A. Salem, “BOA: A novel optimization algorithm”, *IEEE 2012 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, 2012, pp. 1-5.
- [29] S. Mirjalili, “SCA: A Sine cosine algorithm for solving optimization problems”, *Knowledge-Based Systems*, vol. 96, pp. 120-133, 2016.
- [30] A. Karci, B. Alatas, “Thinking capability of saplings growing up algorithm”, In: *Intelligent data engineering and automated learning—IDEAL 2006*, Lecture notes in computer Science, Springer, Berlin, vol. 4224, pp. 386–393, 2006.
- [31] F. Merrikh-Bayat, “The runner-root algorithm: a metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature”, *Applied Soft Computing*, vol. 33, pp. 292–303, 2015.
- [32] Y. Zhou, Y. Wang, X. Chen, L. Zhang, K. Wu, “A Novel path planning algorithm based on plant growth mechanism”, *Soft Computing*, vol. 21 no. 2, pp. 435-445, 2017.
- [33] Y. Labbi, D. B. Attous, H. A. Gabbar, B. Mahdad, A. Zidan, “A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 79, pp. 298–311, 2016.
- [34] A. A. Kamarudin, Z. A. Othman, H. M. Sarim, “Water flow algorithm decision support tool for travelling salesman problem”, In *Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology 2016 (ICAST’16)*, AIP Publishing, 2016, vol. 1761, no. 1.
- [35] A. Sadollah, H. Eskandar, A. Bahreininejad, J. H. Kim, “Water cycle algorithm with evaporation rate for solving constrained and unconstrained optimization problems”, *Applied Soft Computing*, vol. 30, pp. 58–71, 2015.
- [36] A. Kaveh, T. Bakhshpoori, “Water evaporation optimization: A novel physically inspired optimization algorithm”, *Computers & Structures*, vol. 167, pp. 69-85, 2016.
- [37] A. Ibrahim, S. Rahnamayan, M. V. Martin, “Simulated raindrop algorithm for global optimization”, *IEEE 27th Canadian Conference Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2014, pp. 1-8.
- [38] A. H. Kashaan, “League Championship Algorithm: A new algorithm for numerical function optimization”, In *2009 international conference of soft computing and pattern recognition*, 2009, pp. 43-48.
- [39] E. Khaji, “Soccer League Optimization: A heuristic Algorithm Inspired by the Football System in European Countries”, 2014, arXiv preprint arXiv:1406.4462.
- [40] H. D. Purnomo, H. M. Wee, “Soccer game optimization: an innovative integration of evolutionary algorithm and swarm intelligence algorithm”, *Meta-Heuristics optimization algorithms in engineering, business, economics, and finance*. IGI Global, Pennsylvania, pp. 386-420, 2013.
- [41] N. Moosavian and B. K. Roodsari, “Soccer league competition algorithm, a new method for solving systems of nonlinear equations”, *International Journal of Intelligence Science*, vol. 4, no. 1, pp. 7, 2013.
- [42] E. Osaba, F. Diaz, E. Onieva, “A novel meta-heuristic based on soccer concepts to solve routing problems”, In *Proceedings of the 15th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation*, ACM, pp. 1743-1744, 2013.
- [43] Z. W. Geem, J. H. Kim, G. V. Loganathan, “A new heuristic optimization algorithm: harmony search”, *Simulation*, vol. 76, no. 2, pp. 60-68, 2001.
- [44] S. M. Ashrafi, A. B. Dariane, “A novel and effective algorithm for numerical optimization: melody search (MS)”, In *2011 11th international conference on hybrid intelligent systems (HIS)*, IEEE, 2011, pp. 109-114.
- [45] R. A. Mora-Gutiérrez, J. Ramírez-Rodríguez, E. A. Rincón-García, A. Ponsich, O. Herrera, & P. Lara-Velázquez, “Adaptation of the musical composition method for solving constrained optimization problems”, *Soft Computing*, vol. 18, no. 10, pp. 1931-1948, 2014.
- [46] E. V. Altay, B. Alatas, “Randomness as source for inspiring solution search methods: Music based approaches”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 537, no. 122650, 2020.
- [47] E. V. Altay, B. Alatas, “Music based metaheuristic methods for constrained optimization”, In *2018 6th*

- International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS), IEEE, 2018, pp. 1-6.
- [48] Y. C. Ho, D. L. Pepyne, "Simple explanation of the no-free-lunch theorem and its implications", *Journal of optimization theory and applications*, vol. 115, no. 3, pp. 549-570, 2002.
- [49] S. Li, H. Chen, M. Wang, A. A. Heidari, S. Mirjalili, "Slime mould algorithm: A new method for stochastic optimization", *Future Generation Computer Systems*, vol. 111, pp. 300-323, 2020.
- [50] S. Mirjalili, A. Lewis, "The whale optimization algorithm", *Advances in engineering software*, vol. 95, pp. 51-67, 2016.
- [51] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis, "Grey wolf optimizer", *Advances in engineering software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [52] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, H. Chen, "Harris hawks optimization: Algorithm and applications", *Future generation computer systems*, vol. 97, pp. 849-872, 2019.
- [53] F. A. Hashim, K. Hussain, E. H. Houssein, M. S. Mabrouk, W. Al-Atabany, "Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems", *Applied Intelligence*, vol. 51, no. 3, pp. 1531-1551, 2021.
- [54] A.W. Mohamed, A.A. Hadi, A. K. Mohamed, N.H. Awad, "Evaluating the performance of adaptive gainsharing knowledge based algorithm on CEC 2020 benchmark problems", In: 2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), IEEE, 2020, pp. 1-8.
- [55] O. Altay, "Chaotic slime mould optimization algorithm for global optimization", *Artificial Intelligence Review*, pp. 1-62, 2021.



Öznitelik Seçme Yöntemlerinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi Performansına Etkileri

Effects of Feature Selection Methods on Machine Learning Based Intrusion Detection System Performance

Sura Emanet¹, Gozde Karatas Baydogmus^{2*}, Onder Demir¹,

¹ Marmara Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, suraemanet@marun.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-9208>, odemir@marmara.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4540-663X>

² Biruni Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, gbaydogmus@biruni.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2303-9410>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 18 Ekim 2021
Revizyon 13 Aralık 2021
Kabul 28 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Saldırı tespit sistemi, makine öğrenmesi, öznitelik seçimi, öznitelik filtreleme ve saldırı tespiti

ÖZ

Artan İnternet tabanlı teknolojilerin kullanımı insanlara ve kurumlara önemli avantajlar sağlamanın yanı sıra bir takım dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bunlardan en önemlisi siber saldırılardır. Siber saldırıların çeşitlenmesi ve artmasıyla, büyük miktarlara ulaşan kritik verilerin silme, değiştirilme, ifşa edilme gibi eylemlere karşı korunması her geçen gün daha zor hale gelmektedir. Bu sebeple bilgi sistemlerinin güvenliğinin sağlanması amaçlı geliştirilen araçlardan biri olan Saldırı Tespit Sistemleri çok önemli yere sahip bir çalışma alanı olmuştur. Bu çalışmada, CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde literatürde önerilen çeşitli öznitelik seçim yöntemleri ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak, öznitelik seçiminin Saldırı Tespit Sistemi başarımları ve performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Orijinal veri kümesini temsil edebilecek en iyi alt kümeyi belirlemek için Ki-Kare Testi, Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı ve Özyinelemeli Öznitelik Eliminasyonu yöntemleri kullanılmıştır. Yeni veri kümeleri Adaptif Yükseltme, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı, Ekstra Ağaçlar, Pasif-Agresif ve Gradyan Artırma makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılarak performans sonuçlarının karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Performansların objektif değerlendirilebilmesi için K-Fold kullanılmıştır. K-Fold işleminin hesaplama ve zaman yönünden maliyetli olması sebebiyle paralelleştirme uygulanarak işlem süresi düşürülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlara göre Ki-Kare Testi ve Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı öznitelik seçim yöntemleri veri boyutunun indirgenmesinden dolayı işlem yükünü azaltarak işlem süresini %45 oranında kısaltmış fakat hata oranını sırasıyla %14,46 ve %10,52 artırmıştır. Ayrıca, Özyinelemeli Öznitelik Eliminasyonu yönteminin uygun ayar parametreleri kullanıldığında, işlem süresini %38 oranında kısaltması ile birlikte sistemin hata oranını da %2,95'e kadar düşürdüğü görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 October 2021
Received in revised form 13 December 2021
Accepted 28 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Intrusion detection system, machine learning, feature selection, feature filtering and intrusion detection

Doi: 10.24012/dumf.1051340

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

The increasing use of the Internet-based technologies has brought along some disadvantages as well as providing significant advantages to people and institutions. The most important of these disadvantages is cyber-attacks. With the variety and increase of cyber-attacks, it becomes more and more difficult to protect large amounts of critical data against actions such as deletion, modification and disclosure. For this reason, Intrusion Detection Systems, one of the tools developed to ensure the security of information systems, has become a very important study area. In this study, the effect of feature selection on Intrusion Detection System performance and success, was investigated. The study was developed on the CSE-CIC-IDS2018 dataset by using various feature selection methods and machine learning techniques suggested in the literature. Chi-Square Test, Spearman's Ranking Correlation Coefficient and Recursive Feature Elimination methods were used to determine the best subset that could represent the original dataset. The new datasets created with the features determined by each feature selection method were classified using Adaptive Boosting, Decision Tree, Logistic Regression, Multilayer Perceptron, Extra Trees, Passive-Aggressive and Gradient Boosting machine learning methods, and a comparative analysis of the obtained performance results was made. K-Fold was used to evaluate the performances objectively. Since the K-Fold process is costly in terms of computation and time, the processing time is reduced by applying parallelization. According to the experimental results obtained, Chi-Square Test and Spearman's Ranking Correlation Coefficient feature selection methods reduced the processing load due to the reduction of the data size and shortened the processing time by 45%, but increased the error rate by 14.46% and 10.52% respectively. On the other hand, it has been observed that the Recursive Feature Elimination method reduces the processing time by 38% and the error rate of the system up to 2.95% when appropriate setting parameters are used.

Giriş

Saldırı tespit sistemleri (STS), ağ güvenliği altyapısında yaygın olarak kullanılan; anomali ve imza tabanlı saldırıları tespit ederek ağları korumak için geliştirilmiş sistemlerdir. Saldırı tespit yöntemleri temelinde, STS'ler üç kategoriye ayrılabilir: kötüye kullanım, anomali ve spesifikasyon tabanlı [1]. Kötüye kullanım veya imza tabanlı bir STS, saldırı özellikleri ile önceden depolanan saldırı imzaları veya modelleri arasında bir eşleşme arayarak saldırıları tespit edebilir ve bilinen saldırıları tespit etmek için uygundur; ancak yeni veya bilinmeyen saldırıları tespit etme noktasında zayıf kalır. Anomali tabanlı STS'lerin saldırı tespiti noktasındaki dayanağı, saldırı sürecinin normal kullanıcı davranışından farklı davranışlar üretebilmesidir [2].

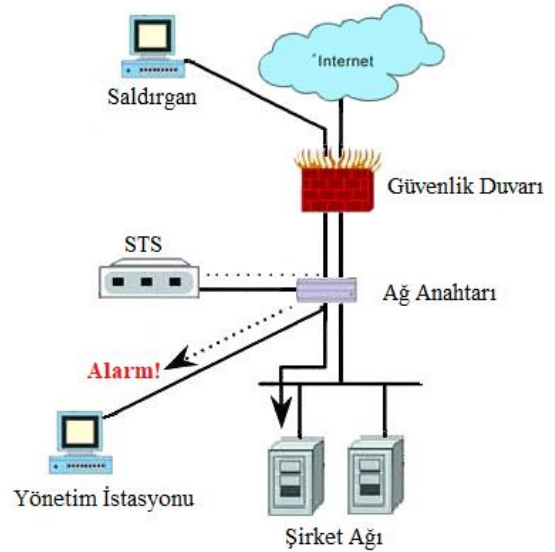
Ağı veya sistemleri kötü amaçlı faaliyet veya politika ihlalleri açısından izleyen bir güvenlik teknolojisi olan STS'ler, ağda dolaşan veri paketlerini izler ve şüpheli etkinlik algılandığında alarm verir. STS'ler çoğunlukla güvenlik duvarından sonra, bir anahtara veya bir ağ TAP (Terminal Erişim Noktası)'ye bağlanır ve trafiğin STS'ye yayıldığı (veya TAP aracılığıyla gönderildiği) Inline olmayan bir modda kullanılır. Bu açıklamalar doğrultusunda Şekil 1 bir STS'nin internetteki varlığını göstermektedir.

Bir STS'nin saldırıları tespit etme noktasındaki kabiliyetini geliştirmek için öğrenme yetenekleri nedeniyle genellikle makine öğrenimi teknikleri kullanılır. Bu yüzden çalışmalar, özellikle en yüksek doğruluk ve en düşük yanlış alarm oranlarının belirlenmesi üzere, sistemlerin performansını iyileştirmek için makine öğrenimi yöntemlerine odaklanmıştır [1]. Son yıllarda bu sistemler üzerinde karar ağacı, rastgele orman, destek vektör makinesi ve yapay sinir ağları gibi birçok makine öğrenimi algoritması uygulanmış ve çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Bununla birlikte, her algoritmanın her türden saldırıyı tespit etmede avantajları ve dezavantajları bulunabilir. Literatürde bulunan öğrenme algoritmalarının her birinin avantajı olduğu gibi dezavantajı da bulunur. Bazı algoritmalar, yalnızca belirli saldırı türlerini tespit etmede yüksek oranda etkili olabilir [3]. Bu durumda bir saldırıyı yüksek başarımla tespit ederken, öğrenme yapısına uymayan bir saldırı ile karşılaştığında sorun yaşanabilir. Popüler bir öğrenme algoritması olan Naive Bayes dengeli veri kümeleri ile çalıştığında çok yüksek başarımla bir tespit yapabilmektedir ancak dengesiz bir veri kümesinde tespit oranı %50'nin altına düşmektedir.

STS'nin verimliliği, doğrudan öğrenme modeli ve veri kümesinin kalitesi ile ilişkilidir. Birçok çalışma bilinen

eksiklikleri olan veri kümelerine dayanmaktadır. Güncel olmayan saldırı trafiği, anonimlik (gizlilik veya etik nedeniyle), simüle edilmiş trafik (gerçek bir üretim ağından değil) ve trafik çeşitliliğinin olmaması, bunlarla sınırlı olmamak üzere eksiklikler arasındadır [4].

Veri kümesindeki öznitelikler sınıflandırma performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Öznitelik sayısının az olması sınıfların düzgün ayrışmamasına, fazla olması ise eğitim süresinin artması, gürültüsü fazla olan özniteliklerin doğruluk oranını düşürmesi gibi problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle eğitim süresini azaltacak, veri kalitesini geliştirecek ve modelin başarısını artıracak orijinal veri kümesini temsil edebilen yeterli sayıda özneliğin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir [5].



Şekil 1. İnternette Saldırı Tespit Sistemi

Çalışmada, 2018 yılında hazırlanmış, saldırı çeşitliliği yüksek, gerçek ağ trafiğine sahip bir veri kümesi olan CSE-CIC-IDS2018 üzerinde literatürde önerilen çeşitli öznitelik seçim yöntemleri ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak performanslı bir STS elde etme üzerinde durulmuştur. Modelin başarısını artırmak ve saldırı tespit süresini azaltmak için öznitelikler Ki-Kare (Chi-Square) Testi, Spearman 'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı (Spearman's Rank Correlation Coefficient) ve Özyinelemeli Öznitelik Eliminasyonu (Recursive Feature Elimination) yöntemleri uygulanarak incelenmiş ve belirlenmiştir. Her bir yöntem için belirlenen öznitelikler ile oluşturulmuş yeni veri kümesi Adaptif Yükseltme

(AdaBoost), Karar Ağacı (Decision Tree), Lojistik Regresyon (Logistic Regression), Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron), Ekstra Ağaçlar (Extra Trees), Pasif-Agresif (Passive Aggressive) ve Gradyan Artırma (Gradient Boosting) makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılarak elde edilen performans sonuçlarının karşılaştırılması bir analizi yapılmıştır.

Makalede öznitelik seçiminin makine öğrenmesi yöntemleri ile kullanımının STS performansına etkisi incelenmiştir. Farklı algoritmalar ile geliştirilen STS performansını görmek ve bu algoritmalar üzerinde öznitelik seçimlerinin etkisini göstermek amacıyla bu çalışmada çeşitli makine öğrenmesi ve özellik seçimi yöntemi irdelenmiştir. Gelecek çalışmalarda Topluluk (Ensemble) Öğrenmesi ile özellik seçimi kullanılarak yeni bir hibrit model önerileceğinden çeşitli algoritmaların başarımını görmek daha verimli bir model oluşturulması için önemlidir.

Elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde Ki-Kare (Chi-Square) Testi ve Spearman 'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı öznitelik seçim yöntemleri, sistemin başarımını düşürmüş olsa da veri boyutunun indirgenmesinden dolayı işlem yükünü azaltmış ve işlem süresini kısaltmıştır. Diğer taraftan Özyinelemeli Öznitelik Eliminasyonu yönteminin uygun ayar parametreleri kullanıldığında, işlem süresini %38 oranında kısaltması ile birlikte sistemin hata oranını da %2,95 oranında düşürdüğü görülmüştür.

Literatür Taraması

Bir makine öğrenimi algoritmasının performansı büyük ölçüde eğitildiği veri kümesine bağlıdır [6]. Makine öğrenimi tabanlı STS ile ilgili mevcut araştırmaların çoğunda, eğitim DARPA, KDD Cup 99 ve NSL-KDD veri kümeleri ile gerçekleştirilmiştir. Ancak bazı araştırmacılar popüler fakat güncelliğini kaybetmiş bu veri kümelerinin yeni çalışmalar için kullanılmamasını önermiştir [4, 6].

CSE-CIC-IDS2018, Kanada Siber Güvenlik Enstitüsü (CIC) ve İletişim Güvenliği Kurumu (CSE) tarafından Amazon Web Servisleri LAN ağının bir bölümü üzerinden toplanarak oluşturulmuştur [5]. Çalışmada kullanılan CSE-CIC-IDS2018, CICIDS2017 veri kümesinin güncel halidir ve saldırı çeşitliliği yüksek, bilinen en yeni saldırı trafiği veri kümesidir. CICIDS2017, CSE-CIC-IDS2018 ve popüler diğer veri kümelerindeki anomali temelli saldırı tespitine yönelik bulguları bildiren bazı çalışmalar şunlardır:

Sharafaldin ve arkadaşları, saldırı tespiti için oluşturulan veri kümelerinin güncel saldırıları kapsamaması, kullanımlarının güvenli olmaması ve saldırı çeşitliliklerinin yetersiz olması gibi sebepler dolayısıyla CICIDS2017 veri kümesini oluşturmuştur. Bu veri kümesi üzerinde 6 farklı makine öğrenimi yöntemi

karşılaştırılmıştır; K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman, ID3, Adaptif Yükseltme, Naive Bayes ve Karesel Ayrım Analizi. %98 F1-Skoru ile ID3 algoritmasının en yüksek başarımlı gösterdiği bildirilmiştir [7].

Wankhede ve Kshirsagar, belirli bir günde yapılan DoS saldırılarını tespit etmek için CICIDS2017 veri kümesi üzerinde iki farklı makine öğrenimi yöntemini uygulamıştır, bunlar; Rastgele Orman ve Yapay Sinir Ağı. Ek olarak, veri kümesinin farklı bölümlenmesinin saldırı tespitinin başarısına yönelik etkisini incelemek amacıyla eğitim veri kümesi %20-%80 arasında bölümlenerek Rastgele Orman ve Çok Katmanlı Algılayıcı algoritmalarının başarımları karşılaştırılmıştır. %99,95 doğruluk oranı ile Rastgele Orman yönteminin en yüksek başarımlı gösterdiği ve Rastgele Orman yöntemi için %50, MLP yöntemi için %30 bölümlenmenin optimum olduğu bildirilmiştir [8].

Zhou ve Pezaros, CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi kullanılarak eğitilen bir modelin sıfır gün (Zero-Day) saldırıları üzerindeki başarımını incelemiştir. Çalışmada 10-Katlamalı Çapraz Doğrulama yöntemi ile altı makine öğrenimi sınıflandırıcısı karşılaştırılmıştır; Rastgele Orman, Naive Bayes, Karar Ağacı, Çok Katmanlı Algılayıcı, K-En Yakın Komşu ve Karesel Ayrım Analizi. Denemeler her saldırı tipi için normal trafik ile ikili karşılaştırılarak yapılmıştır. Karar Ağacının en yüksek saldırı tespit doğruluğunu sergilediği bildirilmiştir [9]. Sonrasında, eğitim veri kümesi üzerinde Normal ve Saldırı olmak üzere etiketlemeler oluşturulup model eğitilmiştir. Test veri kümesi için 1 haftalık normal trafik ve 8 farklı yeni saldırı trafiği oluşturulmuştur; ZeroAccess, DDoS Bot'a Darkness, Google Doc Macadocs, Bitcoin Miner, Drowor Worm, Nuclear Ransomware, False Content Injection, Ponmocup Trojan. Çalışma sonucunda Karar Ağacı modeli kullanılarak %96 doğruluk oranı ile saldırı tespiti yapılabildiği bildirilmiştir.

Kanimozhi ve Jacob, CSE-CIC-IDS2018 veri kümesindeki Botnet saldırılarını tespit etmek için Çok Katmanlı Algılayıcı yöntemini uygulamıştır. Çalışmada, varsayılan hiper-parametreler ile modelin aşırı uyum (overfitting) durumuna düşmesi sebebiyle hiper parametre optimizasyonu yapılmış ve %99,97 doğruluk oranına ulaşılmıştır [10].

Yulianto ve arkadaşları, Adaptif Yükseltme tabanlı STS'nin performansını iyileştirmek için CICIDS2017 veri kümesi üzerinde Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA), Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme (Synthetic Minority Oversampling Technique-SMOTE) ve Topluluk Öznitelik Seçimi (Ensemble Feature Selection-EFS) yöntemlerini kullanmıştır. Değerlendirme sonuçları, %90,01 F1-Skoru ile SMOTE ve EFS

yöntemlerinin birlikte kullanımlarının en iyi performans iyileştirmesini sağladığını göstermiştir [11].

Wani ve arkadaşları, Bulut Bilişim Ortamı üzerinde Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman ve Naive Bayes yöntemlerini kullanarak DDoS saldırı tespiti yapmıştır. Çalışma sonucunda, oluşturulan yeni veri kümesi üzerinden 9 öznelik kullanılarak %99,80 F1-Skoru ile Destek Vektör Makine yönteminin en yüksek başarıyı gösterdiği bildirilmiştir [12].

McKay ve arkadaşları, CICIDS2017 veri kümesindeki Botnet saldırılarını tespit etmek için Rastgele Orman, OneR, K-En Yakın Komşu, J48, Çok Katmanlı Algılayıcı ve NaiveBayes yöntemlerini uygulamıştır. Çalışmada veri kümesi dengeli ve normal olmak üzere iki farklı şekilde bölünmüştür. Dengeli veri kümesi kullanılarak eğitilen modellerin tümü ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. %98,73 doğruluk oranı ile J48 yönteminin en yüksek başarıyı gösterdiği bildirilmiştir [13].

Kanimozhi ve Jacob, Botnet saldırılarının tespiti için CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde altı makine öğrenimi sınıflandırıcısını karşılaştırmıştır; K-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, Rastgele Orman, Adaptif Yükseltme ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı. Performanslar kalibrasyon eğrileri üzerinden değerlendirilmiştir. Kalibrasyon eğrisi, mükemmel eğriye en yakın olan sınıflandırıcının MLP olduğu bildirilmiştir [14].

Ferrag ve Maglaras, Brute-Force, Web, DoS, DDoS, Botnet ve Infiltration saldırılarını tespit etmek için CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde dört farklı makine öğrenimi yöntemi uygulamıştır, bunlar; Destek Vektör Makinesi, Tekrarlayan Sinir Ağları, Evrimsel Sinir Ağları ve Rastgele Orman. Elde edilen en yüksek doğruluk oranlarının sırasıyla %92,19, %96,12, %96,18, %98,55, %98,71 ve %96,23 olduğu bildirilmiştir [15].

Pehlivanoglu ve arkadaşları, Tek Seviyeli ve İki Seviyeli Hibrit Yöntem olmak üzere iki farklı yöntemin CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde saldırı tespit başarısını test etmiştir. Çalışmada Evrimsel Sinir Ağı, Rastgele Orman, Hafif Gradyan Artırma, Evrimsel Rastgele Orman, Hafif Gradyan Rastgele Orman ve Rastgele Orman-Rastgele Orman makine öğrenimi yöntemleri uygulanmıştır. Sonuçlar, %98,00 doğruluk oranı ve %86,00 makro F1-Skoru ile Evrimsel Rastgele Orman hibrit modelinin en iyi saldırı tespitini yaptığını göstermiştir [16].

Filho ve arkadaşları, CIC-DOS, CICIDS2017, CSE-CIC-IDS2018 ve kendi oluşturdukları veri kümeleri üzerinde DoS saldırılarının tespiti için Rastgele Orman makine öğrenimi yöntemini uygulamıştır. Elde edilen F1-Skor değerleri sırasıyla %99,00, %99,00, %100,00 ve %99,00 çıkmıştır [17].

Zhou ve arkadaşları, CICIDS2017 veri kümesini kullanarak yüksek doğruluk oranı ile performanslı bir şekilde saldırı tespiti yapılabilmesi için öznelik seçimi ve toplu öğrenme yöntemlerini uygulamıştır. Çalışmada, Korelasyon Tabanlı Öznelik Seçimi ve Yarasa Algoritmasının (CFS-BA) faydalarını C4.5, Rastgele Orman ve ForestPA'ya dayalı bir topluluk sınıflandırıcısı ile birleştiren yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin %96,76 doğruluk oranı ve %98,10 F1-Skoru ile en yüksek başarıyı gösterdiği bildirilmiştir. Sonuçlar, tek sınıflandırıcının bulunduğu bireysel yaklaşımlardan önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır [18].

Fitni ve arkadaşları, çalışmalarında her bir sınıflandırma algoritmasının faydalarını bütünleştiren oylama adı verilen toplu öğrenme yaklaşımını gerçeklemiştir. Toplu öğrenme için en uygun temel sınıflandırıcıları belirlemek amacıyla CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde 7 farklı tek sınıflandırıcı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre bir topluluk modeli oluşturulmuştur. Topluluk modeli için seçilen sınıflandırıcılar; Lojistik Regresyon, Karar Ağacı ve Gradyan Artırma yöntemleridir. En önemli veri özneliklerini belirlemek için Spearman korelasyon analizinden faydalanılmıştır. Sonuçlar, 80 öznelikten 23'ünün seçildiğini ve modelin şu başarı oranlarını aldığını göstermiştir; Doğruluk %98,80; Kesinlik %98,80; Duyarlılık %97,10 ve F1-Skor %97,90 [19].

2021 yılında araştırmacılar İnternet üzerinden verilen hizmetlerin artması sonucunda ağ altyapısının siber saldırılara daha fazla maruz kaldığını tespit ederek, ağ trafiğinden yakalanan paket örnekleri üzerinde DDoS saldırılarını tespit eden bir derin öğrenme modeli önermiştir [20]. Çalışmada, CIC-DDoS2019 veri kümesi üzerinde inceleme yapılmış ve popüler bir derin öğrenme yaklaşımı olan Derin Sinir Ağları kullanılmıştır. Derin Sinir Ağlarının tercih edilmesinin sebebi eğitildikçe kendini güncellemesi, öznelik çıkarma ve sınıflandırma işlemlerini içeren katmanlara sahip olmasıdır. Sonuçlar, ağ trafiğine yapılan saldırıların %99,99 başarı ile tespit edildiğini ve saldırı türlerinin %94,57 doğruluk oranı ile sınıflandırıldığını göstermektedir.

Arslan, çalışmasında internet trafik verilerini daha kolay işlenebilir hale getirmek için bir veri ön işleme önermiş ve makine öğrenmesi teknikleri ile ağ analizi yaparak sınıflandırmayı hedeflemiştir [21]. Önerdiği veri ön işleme trafik analiz süresini önemli ölçüde kısaltmış ve başarı oranını artırmıştır. Çalışmanın eğitim ve testi için güncel bir veri kümesi olan CSE-CIC-IDS2018 tercih edilmiştir. Sonuçlar, ikili sınıflandırma için Ekstra Ağaçlar algoritması ile %99,0 ve çoklu sınıflandırma için Rastgele Orman algoritması ile %98,5 başarı oranı elde edildiğini göstermektedir.

Emhan ve Akın, anomali tespiti için kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının daha verimli hale getirilmesini sağlamak üzere bir çalışma yapmıştır [22]. Buna göre filtreleme tabanlı öznelik seçimi yöntemlerinin anomali tabanlı saldırı tespit etmedeki başarısını gösteren araştırmalar gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar çalışmayı geliştirmek için popüler bir saldırı tespit veri kümesi olan NSL-KDD veri kümesini tercih etmiştir. Çalışmada öncelikle filtreleme tabanlı Korelasyon Tabanlı, Simetrik Belirsizlik Katsayısı, Kazanç Oranı, Bilgi Kazancı, One-R, ve Ki-Kare Öznelik Seçimi yöntemleri ile veri kümesinin boyutu azaltılmış ve 8 öznelik seçilmiştir. Öznelik seçiminden sonra K-en yakın komşu ve Rastgele Orman algoritmaları ile ayrı ayrı saldırı tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Ki-Kare, Bilgi Kazancı ve One-R ile öznelik seçimi yapılmış veri kümesinde sınıflandırma yapmanın en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Önerilen Sistem

STS'ler ilerleyen teknoloji ile beraber, artan ihtiyaçlar doğrultusunda istekleri karşılamaya uygun olmalıdır [23]. Hala gelişmekte ve bir çok araştırmaya konu olan Makine Öğrenmesi bu anlamda başvurulan yöntemlerdendir [24]. STS'lerde bu yöntemlerin kullanılmasının amacı; sistemin, hakkında bilgisi olmadığı bir veriyi hızlı ve yüksek doğruluk oranı ile tahmin edebilmesidir [25].

STS'ler çoğunlukla artan işlem süresi ve düşük tespit oranı ile sonuçlanan çeşitli alakasız ve gereksiz öznelikler içeren büyük miktarda veriyle ilgilenir [26]. Bu nedenle öznelik seçimi, makine öğrenimi tabanlı STS'lerde performans iyileştirmeleri elde etmek için önemlidir. Bu yöntem, doğruluk tespitini geliştirmek ve sınıflandırma eğitim süresini azaltmak için en önemli veri kümesi özneliklerini seçmek için kullanılır [27].

Bu çalışmada, doğru ve verimli sınıflandırma sonuçlarına sahip bir STS elde etmek için literatürde önerilen farklı öznelik seçim yöntemleri ile çeşitli makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılmasına odaklanılmıştır. STS için geliştirilen makine öğrenimi modeli yaklaşımı Şekil 2'de verilmiştir. Model iki aşamadan oluşmaktadır; Veri ön işleme ve Tabakalı 5-Katlamalı Çapraz Doğrulama. İlk aşamada veri temizleme ve dönüştürme işlemlerinden sonra öznelik seçimi uygulanmış sonraki aşamada elde edilen yeni veri kümesi üzerinde 5-Katlamalı Çapraz Doğrulama kullanılarak seçilen makine öğrenmesi modelleri uygulanmıştır.

Veri ön işleme aşaması, CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde; eksik öznelik değerlerinin tamamlanması, hatalı verinin düzeltilmesi, tutarsızlıkların saptanması ve temizlenmesi, ölçeklendirme, normalizasyon ve çeşitli öznelik seçim yöntemlerinin uygulanmasından oluşmaktadır. Veri kümesinin oldukça fazla örnek içermesi ve sadelik ihtiyacı sebebiyle, öznelik seçim yöntemleri uygulanmadan veri kümesi atak dağılımları değişmeyecek şekilde %50 oranında küçültülmüştür.

Uygulanan her bir öznelik seçim yöntemi için, eğitim veri kümesi ile Adaptif Yükseltme (AdaBoost), Karar Ağacı,

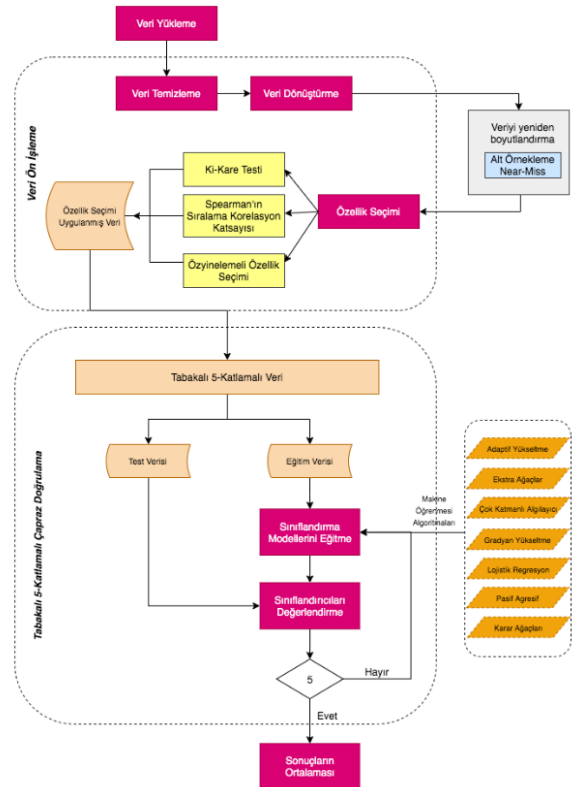
Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Ekstra Ağaçlar, Pasif-Agresif ve Gradyan Artırma makine öğrenme algoritmaları kullanılarak oluşturulan modeller eğitilmiştir. Test veri kümesi ile, oluşturulan saldırı tespit modellerinin bir değerlendirilmesi ve performanslarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Performanslar Tabakalı 5-Katlamalı Çapraz Doğrulama (Stratified 5-Fold Cross Validation) tekniği kullanılarak doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1-Skoru (F1-Score) ve hesaplama zamanı metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Kullanılan veri kümesi, öznelik seçim yöntemleri ve modeller ile ilgili bilgiler devam eden kısımda detaylandırılmıştır.

Veri Kümesi

Çalışmada Kanada Siber Güvenlik Enstitüsü (Canadian Institute for Cybersecurity) ve İletişim Güvenliği Kuruluşu (Communications Security Establishment) iş birliği ile üretilmiş ve herkese kullanım imkânı sunulmuş, güncel bir veri kümesi olan CSE-CIC-IDS2018 tercih edilmiştir [27].

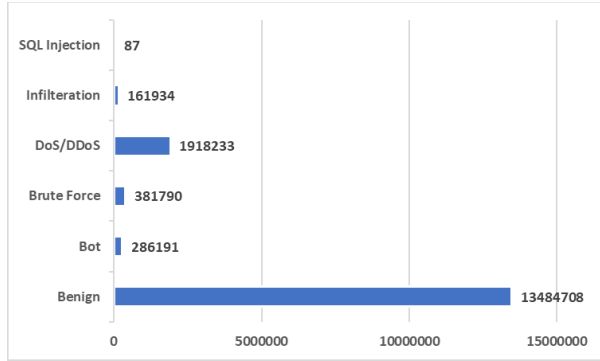
Veri kümesinde BruteForce (Web, XSS, FTP, SSH), Botnet, DoS (Hulk, SlowHTTPTest, GoldenEye, Slowloris), DDoS (HOIC, LOIC-UDP, LOIC-HTTP), Web saldırıları (SQL Injection) ve Ağa içeriden sızma (Infiltration) olmak üzere 6 tipte 14 farklı saldırı türü (2,748,235 saldırı) vardır. CICFlowMeter-V3 [29] kullanılarak elde edilen paketler ağ trafik akışlarına dönüştürülmüş ve 80 öznelik sunulmuştur.



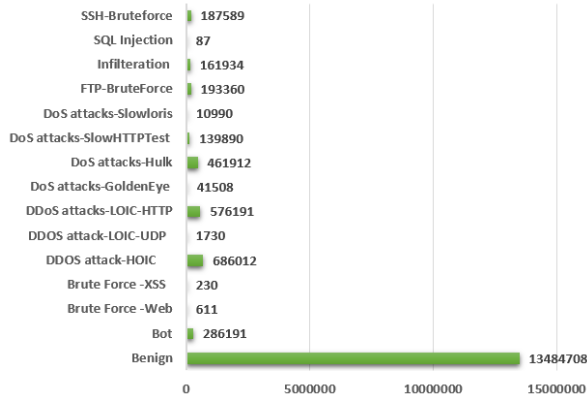
Şekil 2. Geliştirilen makine öğrenmesi modeli

Şekil 3, normal ve çeşitli saldırı türlerinin veri kümesindeki dağılımlarını, Şekil 4'de her etiket için örnek

dağılımları göstermektedir. Her iki şekilde de Benign tipli veri sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir bu da Yanlış Negatif sayısının fazla olmasına sebep olacak ciddi bir hata ile sonuçlanabilir.



Şekil 3. Etiket kategori dağılımı



Şekil 4. Veri kümesindeki etiket sayısı

Tablo 1 CSE-CIC-IDS2018 veri kümesinde yer alan bazı öznelikler için kısa açıklamalar içermektedir. Öznelikler ve ayrıntılı açıklamaları için referans [27] incelenebilir.

Tablo 1. CSE-CIC-IDS2018 öznelikler

Öznelik	Kısa Açıklama
Dst Port	Hedef Bağlantı Noktası
Totfwd/bwdpkts	İleri ve geri yönlere toplam paket sayısı
Fwd/bwdpkts	Saniyedeki ileri/geri paket sayısı
Flowduration	Akış süresi
Idl_min	Akışın aktif hale gelmeden önce boşta kaldığı süre

Öznelik Seçimi

Öznelik seçimi, tahmine veya beklenen çıktı değişkenlerine katkıda bulunabilecek önemli özneliklerin seçilme sürecidir [4]. Öznelik seçiminde kullanılan yöntemler, istatistiksel bilgiye dayalı olan filtreleme (filter)

yöntemleri, öznelikler üzerinde arama işlemleri gerçekleştiren sarmal (wrapper) yöntemler ve en iyi bölen ölçütünü bulmaya dayalı olan gömülü (embedded) yöntemler olmak üzere genel olarak üç grupta toplanmaktadır [29].

Eğitim ve test modelinde kullanılacak öznelikler 3 farklı yöntem uygulanarak belirlenmeye çalışılmıştır; Ki-Kare (Chi-Square) Testi, Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı (Spearman's Rank Correlation Coefficient) ve Özyinelemeli Öznelik Eliminasyonu (Recursive Feature Elimination-RFE).

Ki-Kare istatistiksel testi, öznelikler ve cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin gücünü göstererek en iyi özneliklerin seçimini kolaylaştırır [30].

Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı, yüksek korelasyonlu öznelikleri tanımlamak için kullanılır [32].

Özyinelemeli Öznelik Eliminasyonu (RFE), en zayıf özneliği (veya öznelikleri) belirtilen öznelik sayısına ulaşılan kadar özyinelemeli olarak ortadan kaldırarak, orijinal veri kümesini temsil edebilecek en iyi alt kümenin belirlenmesini sağlar.

Belirtilen üç yöntem için CSE-CIC-IDS2018 veri kümesindeki her bir özelliğin puan hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan puan hesaplamaları sonucunda eşığı geçen öznelikler ile sınıflandırıcılar üzerinde performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Ki-Kare Testi, Spearman'ın Korelasyon Sıralama Katsayısı ve RFE yöntemleri uygulanarak sırasıyla 31, 25 ve 40 öznelik belirlenmiştir. Belirlenen öznelikler ile oluşturulan yeni veri kümeleri çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Belirlenen öznelikler ile ilgili tüm detaylar Uygulama ve Başarımlar bölümünde yer almaktadır.

Sonuçlar, sistem başarımının Ki-Kare testi ve Spearman'ın korelasyon analizi uygulandığında düştüğünü, RFE yöntemi uygulandığında ise arttığını göstermiştir. En yüksek başarıyı veren model %98,76 doğruluk oranı ile Ekstra Ağaçlar modeline ait olsa da süre metriği dikkate alındığında sırasıyla %98,65 ve %95,15 doğruluk oranları ile Karar Ağacı ve Lojistik Regresyon modelleri de ön plana çıkmıştır.

Kullanılan Makine Öğrenmesi Yaklaşımları

Bu kısımda çalışmada kullanılan makine öğrenmesi yaklaşımlarından bahsedilmiştir.

Karar Ağacı Algoritması (DT), sınıflandırma ve regresyon için kullanılan parametrik olmayan denetimli bir öğrenme yöntemidir. Amaç, veri özneliklerinden çıkarılan basit karar kurallarını öğrenerek, hedef değişkenin değerinin tahmin edildiği bir model oluşturmaktır.

Adaptif Yükseltme Algoritması (ADA), "Adaptive Boosting" yaklaşımının kısaltması olan AdaBoost, prestijli Gödel ödülüne layık görülmüş ilk başarılı boosting algoritmasıdır. Amaç, sınıflandırma problemlerine odaklanarak bir takım zayıf sınıflandırıcıları güçlü olana dönüştürmektir. Algoritmada başlangıçta her bir örnek için eşit bir dağılım ile başlanır ve sınıflandırma performansına göre en iyi zayıf sınıflandırıcı bulunur. Ardından ağırlıklar

güncellenerek yanlış sınıflandırılan örneklere odaklanılır. Böylelikle belirli sayıdaki iterasyon sonucunda en güçlü zayıf sınıflandırıcılar bir araya getirilerek güçlü bir sınıflandırıcı oluşturulur ve sınıflandırma başarısı artırılır [32, 33].

Lojistik Regresyon (LR), bağımlı değişkeni ikili (binary) yapıda olan veri kümeleri üzerinde uygulanan bir regresyon analizidir. Diğer tüm regresyon analizlerinde olduğu gibi, lojistik regresyon da bir tahmin analizidir. Bu tür analizlerde temel amaç bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi, en az değişken ile en iyi uyuma sahip olacak biçimde tanımlayabilen, kabul edilebilir bir model kurmaktır [34].

Ekstra Ağaçlar (ET), Rastgele Orman sınıflandırıcısının farklı bir versiyonudur. Rastgele orman metodunda olduğu gibi veri kümesinin kopyaları kullanılarak model eğitilir, ancak düğümlerin dallara ayrılma aşamasında karar kriteri kullanarak optimum ayrılmayı yapmak yerine rastgele dallanma yoluna gidilir. Bu metod, bazı veri analizi problemlerinin çözümünde karmaşıklığı ve işlem yükünü azaltmasına rağmen yüksek gürültü barındıran büyük veri kümelerinin analizinde performansı düşüktür. İstatistiksel açıdan değerlendirildiğinde bu yöntem genellikle bias artışına sebep olurken varyansı düşürür [35].

Pasif-Agresif (PA) Algoritmalar, çevrimiçi öğrenme algoritmalarıdır. Genellikle büyük ölçekli veriler için kullanılır. Tüm eğitim veri kümesinin bir anda kullanıldığı toplu öğrenmenin aksine çevrimiçi öğrenme algoritmalarında, giriş verileri sırayla gelir ve model adım adım güncellenir [34].

Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP), günümüzde birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bugün özellikle sınıflandırma işlemlerinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. MLP’ de Delta öğrenme kuralı denilen bir öğrenme yöntemini kullanılmaktadır. Bu kuralın amacı; ağırlık istenen çıktı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı minimum yapmaktır. MLP’ler; girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Bilgiler girdi katmanından ağa tanıtılır, gizli katmanlardan çıktı katmanına ulaşır ve çıktı katmanından dış dünyaya aktarılır. MLP’lerde; eğitici öğrenme yöntemi kullanılmaktadır. Ağ hem örnekler hem de bu örneklerden oluşturulması gereken çıktılar sunulmaktadır. Ağ, örneklere bakarak problem uzayında bir çözüm üretir, bu genellemeye bağlı olarak gelecek yeni örnekler için de çözüm üretebilmektedir [37].

Gradyan Artırma Algoritması (GB), sınıflandırma ve regresyon için kullanılan denetimli bir makine öğrenme yöntemidir. Adaptif Yükseltme algoritmasına benzer şekilde, zayıf sınıflandırma modellerinin bir kombinasyonu, genellikle bir karar ağacı, modeli oluşturulur. Bu yöntem, her adımda yinelemeli olarak kayıp fonksiyonunu en iyi azaltan yeni bir karar ağacı ekleyerek, yüksek tahmin doğruluğuna sahip güçlü bir sınıflandırıcı elde etmeyi amaçlar.

Geliştirilen sistemde “scikit-learn” kütüphanesi içerisinde yer alan sınıflandırıcılar diğer çalışmalar ile karşılaştırma yapılabilmesi adına varsayılan parametreler ile kullanılmıştır.

Değerlendirme Metrikleri

Makine öğrenimi sınıflandırıcılarının performanslarını değerlendirmek için yaygın olarak birkaç ölçüm kullanılır. Önerilen modeli değerlendirmek için aşağıdaki performans ölçütleri kullanılmıştır [37]:

Denklemlerdeki TP, FP, TN ve FN sırasıyla doğru pozitif, yanlış pozitif, doğru negatif ve yanlış negatif temsil etmektedir.

Doğruluk (Accuracy); Doğru şekilde sınıflandırılan örneklerin toplam örnek sayısına oranıdır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TF}{TP + TF + FP + FN} \quad (1)$$

Kesinlik (Precision); Doğru sınıflandırılmış pozitif örnek sayısının, toplam pozitif tahminlenmiş örnek sayısına oranıdır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Duyarlılık (Recall); Doğru sınıflandırılmış pozitif örnek sayısının, toplam pozitif örnek sayısına oranıdır.

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

Kesinlik ve duyarlılık ölçütleri tek başına anlamlı bir karşılaştırma sonucu çıkarmamız için yeterli değildir. Kesinlik, Tip 2 Hata (False Negative) değerini, duyarlılık ise Tip 1 Hata (False Positive) değerini dikkate almaz. Bu sebeple, her iki ölçütün beraber değerlendirildiği tüm hata maliyetlerini içeren F1-Skor tanımlanmıştır. F1-Skor, kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalamasıdır.

$$F1 - \text{Skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

Uygulama ve Başarımlar

Önerilen sistemi gerçeklemek için Python programlama dili, makine öğrenimi ile veri işleme araçlarından Sklearn [38], Numpy [39] ve Pandas [40] kütüphaneleri ile birlikte kullanılmıştır. Aşağıdakiler değerlendirilmeler için kullanılan 64-bit Microsoft Windows işletim sistemli bilgisayara ait teknik özelliklerdir:

- CPU: Intel Core i7-7700K @ 4.2 GHz
- RAM: 32 GB

Veri Ön işleme

Veri kümesinden CICFlowMeter-V3 ile öznitelikler çıkarılmış ve Flow ID, Source IP, Source Port, Destination IP ve Destination Port öznitelikleri veri kümesinden

silinmiştir. Ek olarak bir saldırı için saldırı zamanı bilgisi önemsiz olduğundan ve saldırı zamanının saldırı durumu veya tipi ile herhangi bir ilişkisi bulunmadığından Timestamp özneliği de veri kümesinden silinmiştir. Hataları önlemek için 'Infinity' ve 'NaN' değerleri uygun değerler ile değiştirilmiştir. InitFwd Win Byts ve InitBwd Win Bytes sütunları bazı örneklerde -1 değerini içermektedir. Bu sebeple InitFwd Win BytsNeg ve InitBwd Win BytsNeg şeklinde iki yeni sütun oluşturulmuştur. Oluşturulan sütunlara orijinal öznelikler göz önüne alınarak; -1 değerini içeren veri ile karşılaştığında 1, aksi durumda 0 değerleri atanmıştır. Son olarak veri ölçeklendirilmiş ardından normalize edilmiştir.

Veri kümesinde 16.232.943 adet veri olduğundan sadelik ihtiyacı ve hesaplama süresinin azaltılması açısından Near-Miss alt örnekleme algoritması kullanılarak veri kümesi %50 oranında küçültülmüştür. Bu küçültme sadece veri sayısı üzerinde yapılmış öznelik sayısında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Veri kümesi %50 oranında küçültüldükten sonra veri sayısı 8.116.473 olmuştur. Küçültme işlemi, en yakın üç azınlık sınıfı örneğine minimum ortalama mesafeye sahip çoğunluk sınıf örnekleri üzerinden eleme yapılarak, atak dağılımları ve orijinal veri kümesi ile elde edilen doğruluk ve F1-Skor değerleri yaklaşık eşit olacak şekilde yapılmıştır. Tablo 2 ve Tablo 3 orijinal ve küçültülmüş veri kümesi için Doğruluk, F1-Skor ve Süre değerlerinin karşılaştırmalarını içermektedir.

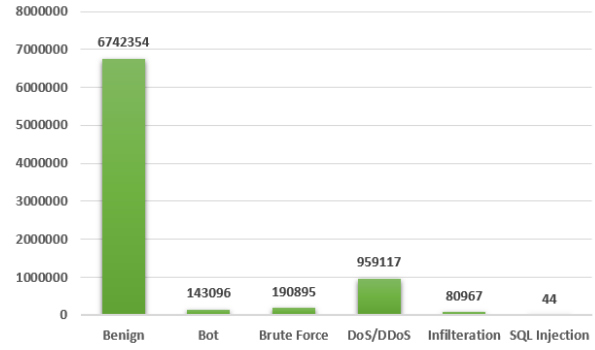
Tablo 2. Lojistik regresyon tabanlı 5-katlamalı çapraz doğrulama sonuçları

Veri kümesi	Doğruluk (%)	F1-Skor (%)	Süre (dk)
Orijinal	95,13	90,80	14,50
Küçültülmüş	95,15	90,79	08,05

Tablo 3. Karar ağaçları tabanlı 5-katlamalı çapraz doğrulama sonuçları

Veri kümesi	Doğruluk (%)	F1-Skor (%)	Süre (dk)
Orijinal	98,75	97,33	78,29
Küçültülmüş	98,65	97,34	4930

Şekil 5 küçültülmüş veri kümesindeki her etiket için atak dağılımlarını göstermektedir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında küçültülmüş veri kümesi ile işlem yapılmıştır.



Şekil 5. Etiket kategori dağılımı

'Label' sütunu verinin hangi saldırı türünde olduğunu göstermektedir. Bu sütun ikili sınıflandırmaya uygun olacak şekilde sayısallaştırılmıştır. Tablo 4 veri kümesindeki normal ve kötü amaçlı ağ trafik yüzdesini göstermektedir.

Tablo 4. Normal ve kötü amaçlı ağ trafik yüzdesi

	Sayı	Yüzde (%)
Normal	6.742.354	83,07
Saldırı	1.374.119	16,93

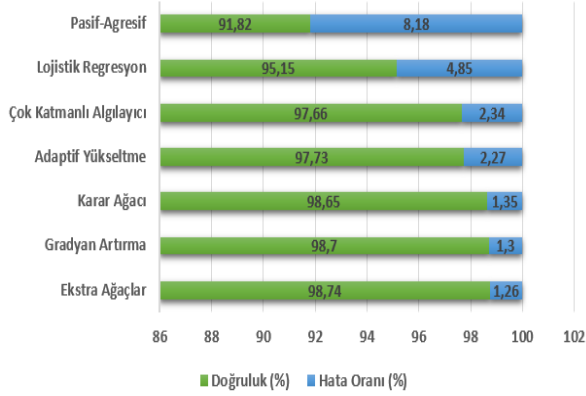
Öznelik Seçimi

Çapraz doğrulama işleminin hesaplama ve zaman yönünden maliyetli olması sebebiyle *joblib* kütüphanesi kullanılarak çok-çekirdekli paralelleştirme (multi-core parallelism) uygulanmış, çalışma zamanı düşürülmüştür. Makine Öğrenmesi modellerinin veri kümesinde bulunan tüm öznelikler ile çalıştırılması sonucu elde edilen doğruluk değeri başarımları ve işlem süreleri Tablo 5 de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar ağaç tabanlı algoritmaların başarımlarının yüksek olduğunu göstermektedir. En yüksek doğruluk değeri 98,74 ile Ekstra Ağaçlar modeline aittir. Doğruluk değeri ve işlem süresi birlikte değerlendirildiğinde Karar Ağacı ve Lojistik Regresyon modellerinin de ön plana çıktığı görülmektedir.

Tablo 5. Tüm öznelikler ile model başarımları

Model	Doğruluk (%)	Hata (%)	Süre (dk)
ET	98,74	1,26	20,53
GB	98,70	1,30	157,55
DT	98,65	1,35	14,04
ADA	97,73	2,27	35,36
MLP	97,66	2,34	270,38
LR	95,15	4,85	3,09
PA	91,82	8,18	1,58

Şekil 6 verilen algoritmaların tüm özneliklerle çalıştırılması sonucu oluşan doğruluk ve hata oranlarının değerlerini göstermektedir. Bu değerler incelendiğinde en optimum sonucu Ekstra Ağaçlar algoritmasının sağladığı görülmektedir.



Şekil 6. Tüm öznelikler ile ulaşılan doğruluk ve hata oranı

STS için en uygun veri yapısı ve içeriğini belirlemek için öznelik seçim yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Öznelikler 3 yaklaşım ile belirlenmiştir.

1. Her bir özneliğin puanı Ki-Kare testi uygulanarak hesaplanmış, düşük puanlı öznelikler kaldırılmıştır.
2. Yüksek korelasyona sahip öznelikler Spearman korelasyon analizi ile belirlenerek kaldırılmıştır.
3. Özyinelemeli Öznelik Eliminasyonu ile, tüm öznelikler sıralanarak en zayıf öznelikler belirtilen öznelik sayısına ulaşıncaya kadar kaldırılmıştır.

Ki-Kare test sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Tablodaki hücreler modelde kullanılacak yüksek puanlı öznelikleri göstermektedir.

Tablo 6. Ki-Kare öznelik seçimi

Öznelik ismi	Puan	Öznelik İsmi	Puan
FlowDuration	6,37	Bwd IAT Max	6,07
TotBwdPkts	5,92	BwdPkts/s	5,52
TotLenBwdPkts	5,69	PktLenMin	5,06
FwdPktLenMax	7,21	PktLenMax	9,00
FwdPktLenMin	6,15	PktLenMean	6,16
FwdPktLenStd	8,00	PktLenStd	7,52
BwdPktLenMax	6,36	Down/UpRatio	9,23
BwdPktLenMin	7,96	Pkt Size Avg	6,27
BwdPktLenStd	6,74	SubflowBwdPkts	5,92
Flow IAT Mean	6,38	SubflowBwdByts	5,69
Flow IAT Std	6,31	FwdAct Data Pkts	5,80
Flow IAT Min	6,38	Active Std	9,82
Fwd IAT Tot	6,37	IdleMean	5,16

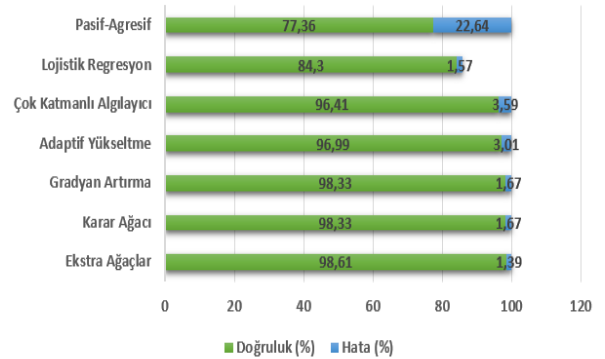
Fwd IAT Mean	6,38	IdleMin	8,39
Fwd IAT Std	7,35	InitFwd Win BytsNeg	5,84
Fwd IAT Min	6,38		

Tablo 7 belirlenen öznelikler ile modellerin doğruluk değer karşılaştırmalarını içermektedir. Sonuçlar ağaç tabanlı algoritmaların başarılarının yüksek olduğunu fakat tüm özneliklerle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında doğruluk değerlerinin az miktarda düştüğünü göstermektedir. Ek olarak, veri boyutunun indirgenmesi işlem yükünü azalttığından dolayı işlem süresi kısalmıştır.

Tablo 7. Ki-Kare öznelik seçim yöntemi ile model başarımları

Model	Doğruluk (%)	Hata (%)	Süre (dk)
ET	98,61	1,39	16,26
DT	98,33	1,67	3,39
GB	98,33	1,67	75,55
ADA	96,99	3,01	16,43
MLP	96,41	3,59	239,29
LR	84,30	1,57	1,06
PA	77,36	22,64	0,25

Şekil 7 verilen algoritmaların Ki-Kare öznelik seçimi ile belirlenen öznelikler kullanılarak çalıştırılması sonucu oluşan doğruluk ve hata oranlarının değerlerini göstermektedir. Şekil 6'ya benzer olarak en başarılı algoritmanın Ekstra Ağaçlar olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Ki-Kare özellik seçimi ile ulaşılan doğruluk ve hata oranı

Spearman korelasyon analizine ait sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir. Bu çalışmada, yüksek korelasyonları belirlemek için 0,8 eşik değeri kullanılmıştır. Uygulama sonrası 77 öznelik içerisinde 25 öznelik belirlenmiştir.

Tablo 8. Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı öznelik seçimi

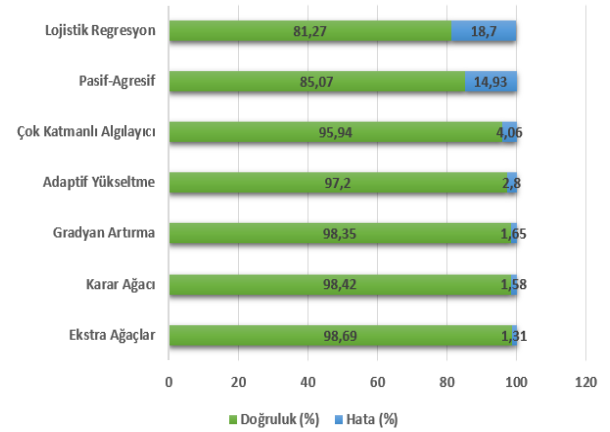
	Öznelik ismi		Öznelik ismi
1	Protocol	14	CWE FlagCount
2	TotFwdPkts	15	Down/UpRatio
3	FwdPktLenMin	16	FwdByts/b Avg
4	FlowPkts/s	17	FwdPkts/b Avg
5	Fwd PSH Flags	18	FwdBlk Rate Avg
6	Bwd PSH Flags	19	BwdByts/b Avg
7	Fwd URG Flags	20	BwdPkts/b Avg
8	Bwd URG Flags	21	BwdBlk Rate Avg
9	BwdPkts/s	22	Active Mean
10	FIN FlagCnt	23	Active Std
11	RST FlagCnt	24	IdleMean
12	PSH FlagCnt	25	InitFwd Win BytsNeg
13	URG FlagCnt		

Tablo 9 belirlenen öznelikler ile modellerin doğruluk değeri karşılaştırmalarını içermektedir. Sonuçlar ağaç tabanlı modellerin işlem süresi ve doğruluk değerleri yönlerinden Ki-Kare testine ait sonuçlara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir. Uygulanan her iki öznelik seçim yöntemi tüm öznelikler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında işlem süresi yönünden olumlu bir etki oluştursa da doğruluk değerlerinde bir artış oluşturmamıştır. Özellikle lineer modellerin başarımları düşmüştür.

Tablo 9. Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı öznelik seçim yöntemi ile model başarımları

Model	Doğruluk (%)	Hata (%)	Süre (dk)
ET	98,69	1,31	12,10
DT	98,42	1,58	1,32
GB	98,35	1,65	28,23
ADA	97,20	2,80	7,53
MLP	95,94	4,06	194,53
PA	85,07	14,93	0,18
LR	81,27	18,7	0,53

Şekil 8 verilen algoritmaların Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı ile seçilen özneliklerle çalıştırılması sonucu oluşan doğruluk ve hata oranlarının değerlerini göstermektedir. 25 öznelik ile çalışan makine öğrenmesi algoritmalarının hata oranlarının tüm öznelikler kullanılarak elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı özellik seçimi ile ulaşılan doğruluk ve hata oranı

RFE yönteminde ilk aşama tüm öznelik kümesinin kullanılarak bir model oluşturulması ve her öznelik için bir önem puanının hesaplanmasıdır. Sonraki aşamada en az önem puanına sahip öznelikler ortadan kaldırılarak model yeniden oluşturulur ve önem puanları tekrar hesaplanır. Bu işlem öznelik kümesinde istenilen sayıda öznelik kalana kadar devam ettirilir. Dolayısıyla, seçim sonunda istenilen öznelik alt kümesi bir ayar parametresidir.

Bu yöntemde belirlenmesi gereken bir diğer parametre ise özneliklerin önem puanlarının belirleneceği makine öğrenme yöntemidir. Tüm öznelikler ile elde edilen Karar Ağacı model başarımının doğruluk ve süre metrikleri yönünden diğer modellere kıyasla daha başarılı olması sebebiyle önem puanlarının belirlenmesinde kullanılacak makine öğrenimi yöntemi Karar Ağacı olarak belirlenmiştir. Model başarımları 60, 50, 40 ve 30 öznelik sayısı için incelenmiş ve 40 öznelik sayısının model başarımını artırdığı ve işlem süresini azalttığı tespit edilmiştir. Tablo 10 Özyinelemeli Öznelik Eliminasyonuna ait sonuçları göstermektedir.

Tablo 10. Özyinelemeli öznelik eliminasyonu

	Öznelik ismi		Öznelik ismi
1	Protocol	21	Bwd IAT Min
2	FlowDuration	22	FwdHeaderLen
3	FwdPktLenMax	23	BwdHeaderLen
4	FwdPktLenMean	24	FwdPkts/s
5	FwdPktLenStd	25	BwdPkts/s
6	BwdPktLenMax	26	PktLenMax
7	BwdPktLenStd	27	PktLenStd
8	FlowByts/s	28	RST FlagCnt
9	FlowPkts/s	29	PSH FlagCnt
10	Flow IAT Mean	30	ACK FlagCnt
11	Flow IAT Max	31	URG FlagCnt

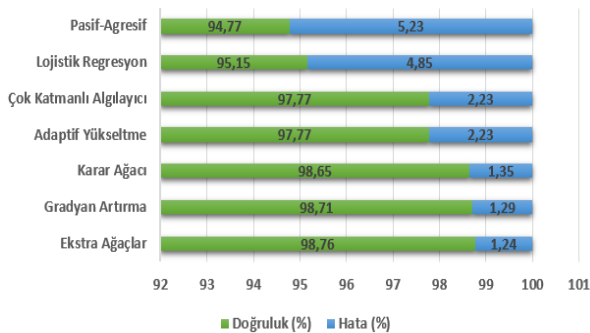
12	Flow IAT Min	32	ECE FlagCnt
13	Fwd IAT Tot	33	Pkt Size Avg
14	Fwd IAT Mean	34	BwdSeg Size Avg
15	Fwd IAT Max	35	FwdAct Data Pkts
16	Fwd IAT Min	36	FwdSeg Size Min
17	Bwd IAT Tot	37	Active Max
18	Bwd IAT Mean	38	Active Min
19	Bwd IAT Std	39	IdleMin
20	Bwd IAT Max	40	InitBwd Win BytsNeg

Tablo 11 belirlenen öznelikler ile modellerin doğruluk değer karşılaştırmalarını içermektedir.

Tablo 11. RFE yöntemi ile model başarımları

Model	Doğruluk (%)	Hata (%)	Süre (dk)
ET	98,76	1,24	8,19
GB	98,71	1,29	117,04
DT	98,65	1,35	6,34
ADA	97,77	2,23	24,24
MLP	97,77	2,23	177,19
LR	95,15	4,85	1,20
PA	94,77	5,23	0,35

Şekil 9 verilen algoritmaların RFE yöntemi ile seçilen özneliklerle çalıştırılması sonucu oluşan doğruluk ve hata oranlarının değerlerini göstermektedir. Bu tabloya göre RFE uygulanmış veri kümesi ile çalışan makine öğrenmesi algoritmalarının hata oranı düşmüş veya sabit kalmıştır.



Şekil 9. RFE ile özellik seçimi ile ulaşılan doğruluk ve hata oranı

Tablo 11 de yer alan sonuçlar ve tüm özneliklerle elde edilen sonuçlar doğruluk ve süre metrikleri üzerinden karşılaştırıldığında özinelemeli sistemin başarımları artırdığı görülmüştür. Ancak yalnızca doğruluk oranı CSE-CIC-IDS2018 gibi dengesiz bir veri kümesinde yanıltıcı bir

metrik olabileceğinden kesinlik, duyarlılık, F1-Skor değerleri de incelenmiştir. Tablo 12 tüm öznelikleri kullanarak elde edilen başarımları içermektedir.

Tablo 12. Tüm öznelikler - kesinlik, duyarlılık, F1-skor değerleri

Model	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1-Skor (%)
ADA	96,44	94,47	95,42
DT	97,40	97,28	97,34
LR	89,35	92,42	90,79
MLP	95,36	96,04	95,61
ET	97,82	97,19	97,50
PA	90,07	87,46	90,47
GB	98,51	96,32	97,38

Tablo 13 RFE yöntemi ile belirlenen öznelikleri içeren veri kümesine ait sonuçları göstermektedir.

Tablo 13. RFE yöntemi ile belirlenen öznelikler – kesinlik, duyarlılık, F1-skor değerleri

Model	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1-Skor (%)
ADA	96,58	94,49	95,50
DT	97,40	97,28	97,34
LR	89,35	92,41	90,79
MLP	95,51	95,80	95,68
ET	97,86	97,21	97,53
PA	87,03	86,19	79,62
GB	98,52	96,34	97,39

Elde edilen sonuçlar, RFE yöntemi kullanıldığında Pasif-Agresif sınıflandırma modelinin doğruluk değerlerinin arttığını fakat saldırı tespit başarısının düştüğünü göstermiştir. Diğer modeller için kesinlik ve duyarlılık değerlerinin genel olarak iyileştiği, doğruluk değeriyle birlikte saldırı tespit başarısının da arttığı görülmüştür. Kesinlik ve duyarlılık metrikleri tek başlarına model başarımını değerlendirme için yeterli metrikler değildir. Kesinlik False Negative (normal trafik olarak yanlış nitelendirme) değerini, duyarlılık ise False Positive (saldırı olarak yanlış nitelendirme) değerini dikkate almaz. Bu yüzden F1-Skor metriği model başarımının değerlendirilmesi için en anlamlı ölçüm yöntemidir. En yüksek doğruluk ve saldırı tespit başarımı Ekstra Ağaçlar modeline ait olsa da süre metriği dikkate alındığında 98,65 oranı ile Karar Ağacı modelinin daha başarılı olduğu söylenebilir.

Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada CSE-CIC-IDS2018 veri kümesi üzerinde farklı öznelik seçim yöntemleri kullanılarak çeşitli STS modelleri geliştirilmiştir. Ki-Kare Testi, Spearman'ın

Sıralama Korelasyon Katsayısı ve Özyinelemeli Öznitelik Eliminasyonu (RFE) olmak üzere 3 farklı öznitelik seçim yöntemi kullanılarak elde edilen yeni veri kümelerinin, orijinal boyuttaki veri kümesi ile karşılaştırılması için Adaptif Yükseltme, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı, Ekstra Ağaçlar, Pasif-Agresif ve Gradyan Artırma sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Tüm deneylerin Tabakalı 5-Katlamalı Çapraz Doğrulama ile gerçekleştirilmesi sebebiyle oluşan hesaplama ve zaman maliyeti çok-çekirdekli paralelleştirme (multi-core parallelism) uygulanarak düşürülmüştür. Ki-Kare istatistiksel testi ve Spearman korelasyon analizi uygulanarak oluşturulan yeni veri kümeleri ile elde edilen model başarımlarında, ağaç tabanlı yöntemlerin başarımlarının %97'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Spearman korelasyon analizine ait sonuçlar ağaç tabanlı modellerin işlem süresi ve doğruluk değerleri yönlerinden Ki-Kare testine ait sonuçlara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir. Uygulanan her iki öznitelik seçim yöntemi tüm öznitelikler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında işlem süresi yönünden olumlu bir etki oluştursa da doğruluk değerlerinde bir artış oluşturmamıştır. Özellikle lineer modellerin başarımları düşmüştür. RFE yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar diğer iki yöntemdeki gibi doğruluk ve süre metrikleri yönlerinden incelendiğinde tüm modeller için sistemin başarımlarının arttığı görülmüştür.

Bu aşamada yalnızca doğruluk oranı CSE-CIC-IDS2018 gibi dengesiz bir veri kümesinde yanıltıcı bir metrik olabileceğinden kesinlik, duyarlılık, F1-Skor değerleri de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, RFE yöntemi kullanıldığında Pasif-Agresif sınıflandırma modelinin doğruluk değerlerinin arttığını fakat saldırı tespit başarısının düştüğünü göstermiştir. Diğer modeller için doğruluk değeriyle birlikte saldırı tespit başarısının da arttığı görülmüştür. En yüksek doğruluk ve saldırı tespit başarımı %98,76 oranı ile Ekstra Ağaçlar modeline ait olsa da süre metriği dikkate alındığında %98,65 oranı ile Karar Ağacı ve %95,15 oranı ile Lojistik Regresyon modelleri de ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, doğru ayar parametreleri ile kullanılan RFE öznitelik seçim yöntemi ile makine öğrenimi tabanlı STS'lerin başarımları ve performanslarının artırabileceği görülmüştür. İleriki çalışmalarda, -saldırı tespitinin başarımlarının ve performansının artırılması amaçlı- bir makine öğrenimi yönteminin tahmin performansından ziyade, birden fazla makine öğrenimi yönteminin tahminlerini birleştiren toplu bir öğrenme modeli önerilmesi ve önerilen modelin Derin Öğrenme yaklaşımları kullanılarak karşılaştırmalı bir analizinin yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] K. Kwangjo, E. A. Muhammad, C. T. Harry, "Network Intrusion detection using deep learning," SpringerBriefs on Cyber Security Systems and Networks, 2018
- [2] M. Preeti, V. Vijay, T. Uday, S. P. Emmanuel, "A detailed investigation and analysis of using machine learning technique for intrusion detection," IEEE, 2018.
- [3] G. Xianwei, S. Chun, H. Changzen, "An adaptive ensemble machine learning model for intrusion detection," IEEE, 2019.
- [4] S. Aljawarneh, M. Aldawairi, M. B. Yassein, "Anomaly-based Intrusion Detection System Through Feature Selection Analysis and Build Hybrid Efficient Model", Journal of Computational Science, 2018.
- [5] M. H. Sazlı ve H. Tanrikulu, "Saldırı Tespit Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması", sunulan XII. "Türkiye'de İnternet" Konferansı, 2007
- [6] R. Sommer, V. Paxson, "Outside the Closed World: On Using machine Learning for Network Intrusion Detection", IEEE Symposium on security and Privacy. 2010.
- [7] Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, and Ali A. Ghorbani, "Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization", in ICISSP, Prague, Czech Republic, 2018, pp. 108-116
- [8] S. Wankhede and D. Kshirsagar, "DoS Attack Detection Using Machine Learning and Neural Network," 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), Pune, India, 2018, pp. 1-5. Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP), Portugal, January 2018.
- [9] Qianru Z and Dimitrios P., "Evaluation of Machine Learning Classifier for Zero-Day Intrusion detection- An Analysis on CIC AWS 2018 Dataset". School of Computing Science, University of Glasgow, 2019.
- [10] V. Kanimozhi and T. Prem Jacob. "Artificial Intelligence based Network Intrusion Detection with Hyper-Parameter Optimization Tuning on The Realistic Cyber Dataset CSE-CIC-IDS2018 using Cloud Computing". International Conference on Communication and Signal Processing. 2019.
- [11] Yulianto, Arif & Sukarno, Parman & Anggis Suwastika, Novian, "Improving AdaBoost-based Intrusion Detection System (IDS) Performance on CIC IDS 2017 Dataset," Journal of Physics: Conference Series, 1192.
- [12] A. R. Wani, Q. P. Rana, U. Saxena and N. Pandey, "Analysis and Detection of DDoS Attacks on Cloud Computing Environment using Machine Learning Techniques," 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI), Dubai, United Arab Emirates, 2019, pp. 870-875.
- [13] McKay, Rob & Pendleton, Brian & Britt, James & Nakhavanit, Ben, "Machine Learning Algorithms on Botnet Traffic: Ensemble and Simple Algorithms," The International Conference on Compute and Data Analysis 2019 (ICCCA), 2019.

- [14] V. Kanimozhi, T. Prem Jacob. "Calibration of Various Optimized Machine Learning Classifiers in Network Intrusion Detection System on the Realistic Cyber Dataset CSE-CIC-IDS2018 Using Cloud Computing". *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 2019 Vol.4, Issue 6, ISSN No. 2455-2143, Pages 209-213, 2019.
- [15] Ferrag, M.A.; Maglaras, L. DeliveryCoin: An IDS and Blockchain-Based Delivery Framework for Drone-Delivered Services. *Computers* 2019, 8, 58. 2019.
- [16] Atay, R., Odabaş, D. E., & Pehlivanoglu, M. K. (2019). İki Seviyeli Hibrit Makine Öğrenmesi Yöntemi İle Saldırı Tespiti. *Dergipark*, 258-272.
- [17] Francisco Sales de Lima Filho, Frederico A. F. Silveira, Agostinho de Medeiros Brito Junior, Genoveva Vargas-Solar, and Luiz F. Silveira, "Smart Detection: An Online Approach for DoS/DDoS Attack Detection Using Machine Learning," *Security and Communication Networks*, vol. 2019, Article ID 1574749, 15 pages, 2019.
- [18] Yuyang Z, guang C, Shanqing J, Mian D. "An Efficient Network Intrusion Detection System Based on Feature Selection and Ensemble Classifier". 2019.
- [19] Q. R. S. Fitni and K. Ramli, "Implementation of ensemble learning and feature selection for performance improvements in anomaly-based intrusion detection systems", *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. 4.0 Artif. Intell. Commun. Technol. (IAICT)*, pp. 118-124, Jul. 2020.
- [20] Cil, A. E., Yildiz, K., & Buldu, A. (2021). Detection of DDoS attacks with feed forward based deep neural network model. *Expert Systems with Applications*, 169, 114520.
- [21] ARSLAN, R. S. (2021). FastTrafficAnalyzer: An Efficient Method for Intrusion Detection Systems to Analyze Network Traffic. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(4), 565-572.
- [22] Emhan, Ö., & Mehmet, A. K. I. N. (2019). Filtreleme tabanlı öznetelik seçme yöntemlerinin anomali tabanlı ağ saldırısı tespit sistemlerine etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 549-559.
- [23] Thomas, R. and Pavithran, D. 2018. "A Survey of Intrusion Detection Models based on NSL-KDD Data Set," 2018 Fifth HCT Information Technology Trends (ITT), Dubai, United Arab Emirates, 286-291.
- [24] Athmaja, S., Hanumanthappa, M. and Kavitha, V. 2017. "A survey of machine learning algorithms for big data analytics," 2017 International Conference on Innovations in Information, Communication Coimbatore, 1-4.
- [25] Sahingoz, O, Çebi, C, Bulut, F, Fırat, H, Karataş, G. "Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması". *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 12 (2019): 1513-1525
- [26] Amrita MA (2013) Performance analysis of different feature selection methods in intrusion detection. *Int J Sci Technol Res* 2(6):225–231
- [27] Yuyang Z, guang C, Shanqing J, Mian D. "An Efficient Intrusion Detection System Based on Feature Selection and Ensemble Classifier". 2019.
- [28] CSE-CIC-IDS-2018 dataset from University of New Brunswick, available online: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html>
- [29] CICFlowMeter: Network Traffic Flow Analyzer, <http://netflowmeter.ca/netflowmeter.html>, Accessed 28 July 2018.
- [30] Saeys, Y., Inza, I., Larranaga, P. 2007. A review of feature selection techniques in bioinformatics, *Bioinformatics*, 23(19), 2507-2517.
- [31] Bisyrion W, Kalamullah R, and Hendri M, "Implementation and Analysis of Combined Machine Learning Method for Intrusion Detection System". *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 2018.
- [32] Wen Yao Zhang, Zong Wen Wei, Bing Hing Wang, Xiao Pu Han, "Measuring Mixing Patterns in Complex Networks by Spearman rank correlation coefficient", 2016, *Physica A* 451.
- [33] Solomatine, DP., Shrestha, DL. AdaBoost. RT: a boosting algorithm for regression problems, *Neural Networks*, Vol 2, 1163 – 1168, 2004.
- [34] Bauer, E., Kohavi, R. An Empirical Comparison of Voting Classification Algorithms: Bagging, Boosting, and Variants, *Machine Learning*, Volume 36, Issue 1, pp 105-139, 1999.
- [35] Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). "Extremely randomized trees." *Machine learning* 63(1): 3-42.
- [36] Ç. Çatal, L. Özyılmaz, Analysis of Multiple Myeloma Gene Expression Data by Multilayer Perceptron



Effect on model performance of regularization methods

Cafer Budak^{1*}, Vasfiye Mençik², Mehmet Emin ASKER³

¹ Dicle University ,Department of Electric-Electronic Engineering, cafer.budak@dicle.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8470-4579

² Dicle University, Department of Electric-Electronic Engineering, vasfiyemencik@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-3769-0071

³ Dicle University ,Department of electricity and energy, measker@dicle.edu.tr , Orcid No: 0000-0003-4585-4168

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 November 2021
Received in revised form 23
November 2021
Accepted 1 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Overfitting, Machine learning,
Regularization

ABSTRACT

Artificial Neural Networks with numerous parameters are tremendously powerful machine learning systems. Nonetheless, overfitting is a crucial problem in such networks. Maximizing the model accuracy and minimizing the amount of loss is significant in reducing in-class differences and maintaining sensitivity to these differences. In this study, the effects of overfitting for different model architectures with the Wine dataset were investigated by Dropout, AlfaDropout, GaussianDropout, Batch normalization, Layer normalization, Activity normalization, L1 and L2 regularization methods and the change in loss function the combination with these methods. Combinations that performed well were examined on different datasets using the same model. The binary cross-entropy loss function was used as a performance measurement metric. According to the results, the Layer and Activity regularization combination showed better training and testing performance compared to other combinations.

Doi: 10.24012/dumf.1051352

* Corresponding author

Introduction

In order to make predictions about test data in machine learning applications, a model is created according to the patterns obtained from the training data. Two things can be mentioned as a result of this process: underfitting and overfitting. As a result of the poor design of the model and the optimization process, the problem is called underfitting cannot model the training data and cannot generalize for new data that the model has not seen before. The fact that the model is not strong enough regularized more than necessary and not trained for enough time causes the network to not learn the relevant inferences from the training data as much as necessary. This situation can cause high errors in both training and test datasets. If the generated model is trained for too long, a higher error rate will likely occur in the test dataset, even though the training dataset has a low error rate[1]. This raises the possibility of overfitting in the model. One of the ways to avoid the overfitting problem is to use more training data.

However, this is not possible in some cases, so using regularization techniques is a good solution. Regularization prevents the model from learning a more complex or flexible model by adjusting the coefficient estimates towards zero for the case of overfitting and underfitting the data. In this study, the issue of overfitting is discussed. Regularization layers such as data augmentation[2], Dropout[3] and batch normalization[4], group normalization[5], Layer normalization[6], Instance Normalization[7] methods are used to prevent the overfitting problem. In addition, the methods such as drop-connect[8], maxout[9], Lasso [10], and weight normalization[11] are also used to prevent overfitting problems. However, these methods, which have high network resilience and can fail in low data applications, cannot take benefit of input invariants. Data augmentation, an effective technique to increase the amount and variety of data, is used to create more data from existing data by

applying various transformations (rotations and adding Gaussian noise) to the original data set and teaching a model about invariance in the data field. However, a successful augmentation process for one data set may not be as successful for a different data set. At the same time, data augmentation, which is widely used in practice, increases the computational cost and may not be completely effective in some medical applications such as tumour identification [12]. Despite being trained on large datasets such as ImageNet [13] or datasets containing millions of labelled images, deep network models are still susceptible to overfitting, even with little success in transfer learning[14]. Since deep neural networks do not tend to generalize with a few examples, the problem of overfitting may become inevitable for tasks in new fields.

In this study, the regularization methods used to prevent overfitting and their combinations were compared. The effects on the model performance of binary combinations of these methods were investigated. Wine dataset[15], The MNIST database of handwritten digits[16], the Fashion-MNIST datasets[17] and Cifar10[18] were used in the studies.

The main contribution of this study is as follows:

- To compare the effect of each regularization method on the model in terms of the loss function.
- To contribute to the literature on the relative importance of different regularization methods and their impact on the model performances.
- To show the effect of combinations of different regularization methods on the model performance.

The remainder of this article is organized as follows: Part two is the proposed method, Part three is the evaluation and discussion of the experimental studies and the results obtained. Chapter four contains conclusions.

Related works

In deep neural networks [19], which are arduous to train and used in many computer vision tasks, appropriate model initiation strategies and regularization are used for rapid training [20]. Batch normalization is one of the normalization methods that improve deep learning performance. This method, which accelerates the training time, ensures that the normalization effects are not lost during training and that the models approach the minimum loss point, perform well in large batch sizes. Unlike batch

normalization, Layer normalization, which normalizes each feature to zero mean and unit variance, uses the same training and test times calculation. Unlike activation-based normalization methods, weight-based normalization is commonly used to avoid overfitting issues. This method, which adds an independent parameter to the cost function in which the model performance is measured, in other words, imposes constraints on the weights, forces the weights to take small values and tries to avoid the problem of overfitting. Some researchers have increased the number of samples in their datasets to avoid the overfitting problem. [21]. Early stopping [22] for kernel boosting algorithms, early stopping for least squares regression [23], and strong convex problems [24] are parts of optimization and normalization that have been studied to reduce the overfitting problem. There are also studies examining the gap in generalization ability in complex networks [25]. Dropout, one of the methods that reduce the overfitting problem and increase the performance of deep networks, is a widely used stochastic normalization technique. This method randomly removes units from the network to avoid memorization in training data. Cutout[26] is other methods used to prevent overfitting problem.

Material and methods

Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Networks (CNN) [27], which is used in many computer vision applications, is one of the deep learning approaches in which multiple layers are trained. Automatic diagnosis of cardiovascular disorders[28] and Detection of unregistered electric distribution transformers in agricultural fields [29] are Works using CNN. CNN, which effectively reduces the number of Artificial Neural Network (ANN) parameters, has revolutionized many areas from image processing to voice recognition. In CNN, a part of deep learning, data features become more discreet when the input data spread to more advanced layers. In image classification, the CNN can detect edges in the first layer, simpler shapes in the second layer, and higher-level features in the next layers. Different layers have different tasks in CNN, which consists of convolutional layers, pooling layers, and fully connected layers. Figure 1 shows a general CNN architecture for image classification.

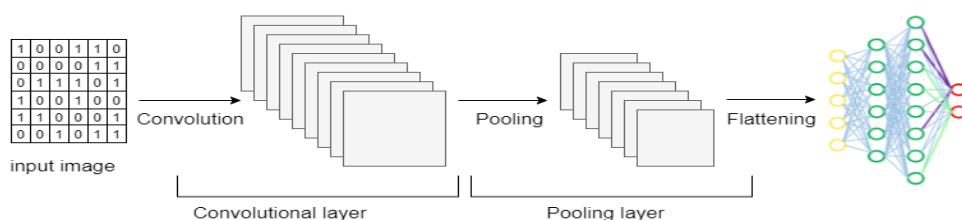


Figure 1. General CNN architecture

Here, convolutional layers and pooling layers extract deep features from the input data and transfer them to fully connected layers to prevent the image from going to artificial neural networks and ensure that the system gives accurate and fast results. Fully connected layers transmit these properties to the output layer. Network training in CNN consists of two stages, a forward stage and a backward stage. In the first stage, the input image is represented by the weights and biases in each layer and the forecast output is used to calculate the loss cost value. In the second step, the value of the gradients of each parameter is calculated backwards with the chain rule, and the value of all parameters is updated used for the next step. This process ends after both steps have been repeated enough and the network training is completed.

Convolutional layers: This layer performs feature extraction using various kernels. There are two basic operations to perform the convolution step. The first of these steps, the linear convolution process, uses kernels to extract features. This convolution operation, whose fundamental purpose is to reduce the size of the input image, is represented as stated in Equation (1). Let $f(t)$ and $g(t)$ be two functions of t . The convolution of $f(t)$ and $g(t)$ is also a function of t , denoted by $(f * g)(t)$, and is defined by the relation

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(T)g(t - T)dT \quad (1)$$

In the second step, the Rectified Linear Unit (RELU) improves the nonlinearity in the network. The output of this process is shown in Equation (2).

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2)$$

Pooling layers: This layer, which is used to reduce the size of feature maps and network parameters, generally uses different pooling strategies such as average pooling and max pooling. The feature map is made into a one-dimensional column in these layers and transmitted to the neural network.

Fully-connected layers: This layer, which works like a traditional neural network and contains about 90% of the parameters in CNN, is also known as a particular hidden layer. This layer allows the neural network to be transmitted to a vector.

Overfitting problem and regularization techniques

Introducing many parameters in deep learning, which can create deeper architectures to learn more discrete information, can cause overfitting problems. In this problem, the models contain too many terms or use too

complex approaches. It would be more practical to distinguish between problems overfitting caused by using a more flexible model than it should be and overfitting caused by using models with irrelevant components. For example, using a more flexible model will add complexity with lower performance than the simple model when used on a dataset that fits the linear model. Using estimators without helpful functionality wastes resources and increases the likelihood of creating undetected estimation errors in the database. Because when using regression at different times to make predictions, it is necessary to measure and record these estimators so that the values in the model can be changed. This can lead to the loss of valuable properties. The ability of one user's results to be copied by another user is effective in portable models. For example, the one-predictive linear regression model that establishes a relationship with the model is portable. Because anyone can apply this model to their data, however, some non-portable models can only be produced by reusing the software data of the user modeling it [30]. For all these reasons, overfitting is undesirable. Recently, many regularization techniques have emerged to prevent overfitting problems. These:

Dropout and DropConnect: During each training, it resets the output of each neuron in the selected layer with a certain probability to avoid complexity on the data and contribute to the improvement of generalization ability. This technique prevents the co-adaptation of feature sensors in the network. Fully-connected layers are effective in editing, but this effect is reduced in convolutional layers. Convolutional layers have fewer parameters and require less regularization than fully connected layers. DropConnect is a well-known technique that randomly drops weights.

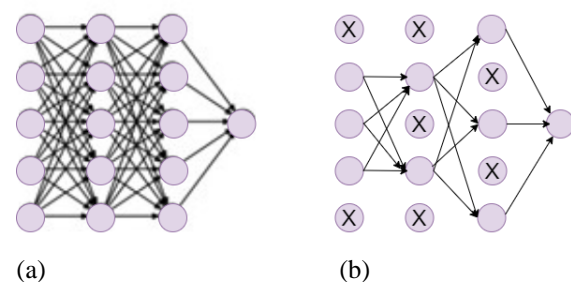


Figure 2. Applying dropout to the neural network (a)Standard Neural Network (b)After applying dropout

Data augmentation: It is the acquisition of new data by applying various transformations of existing data such as horizontal and vertical translation, scaling, squeezing, and horizontal shearing without creating additional costs.

Cutout: It is a simple regularization technique for CNNs. It augments the dataset with partially closed versions of existing samples. This technique forces models to take more consideration of the exact image context. The main difference between the cutout and other dropout

techniques is that neurons are dropped at the input stage instead of layers.

Batch normalization: It changes the input distribution of the hidden layer during training and transforms the input distribution into a standard distribution with a mean of 0 and a variance of 1. Batch normalization enlarges the gradient and helps to eliminate gradient problems. Thus, the convergence of the neural network is faster, and the training takes place in a shorter time. Let P_k be input and Y_k output in a mini-batch, $k \in [1, 2, \dots, K]$. Here a mini-batch average μ_B is calculated as:

$$\mu_B = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_k \tag{3}$$

Variance σ_B^2 is calculated as stated in Equation (4).

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{K} \sum_{m=1}^K (P_k - \mu_B)^2 \tag{4}$$

The normalization value of the input (P_k^l) is:

$$P_k^l = \frac{P_k - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \theta}} \tag{5}$$

Here θ is a small positive number. The mini-batch output value is Y_k :

$$Y_k = cP_k^l + \alpha \tag{6}$$

It is calculated as Here, c and α parameters are the parameters that can be learned by backpropagation. Layer normalization: It was designed to overcome the disadvantages of batch normalization. With RELU, whose outputs can change a lot, changes in one layer output can cause changes in the next layer inputs. This ‘‘covariate shift’’ problem can be reduced by fixing the mean and the variance of the total inputs in each layer. A layer normalization is calculated on all hidden neurons in the same layer (See Equation (7)).

$$\mu^l = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T \beta_n^l \tag{7}$$

Here β_n^l denotes the collected inputs, and T denotes the number of hidden neurons in a layer.

$$\sigma^l = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^T (\beta_n^l - \mu^l)^2} \tag{8}$$

The main difference between Equation 7 and 8 is that all hidden neurons in a layer share the same terms (μ and σ) in this normalization technique. Unlike batch normalization, it does not impose any restrictions on the size of a mini-batch.

Weight normalization: In this normalization inspired by batch normalization, the weights are re-parameterized, thus improving the optimization problem. Here, the computation of each neuron is treated as a weighted sum of its input features.

$$y = \vartheta(w \cdot x + b) \tag{9}$$

Here, x is an n -dimensional vector of input features, y is neuron output, $\vartheta(\cdot)$ is nonlinearity, w is weight, and b is biased. The neural network is trained on each neuron's w , b parameters, and the weight vector is re-parameterized to speed up the optimization convergence.

$$w = \frac{d}{\|f\|} f \tag{10}$$

Here f represents the parameter vector, and d is the scalar parameter.

L2 regularization: The main purpose of this technique is to combine the term regularization with an irregular target.

$$L_\tau(w) = L_{(w)} + \tau \|W\|_2^2 \tag{11}$$

$$L_{(w)} = \sum_{n=1}^N L_n(y(X_n, w, \gamma, \beta)) \tag{12}$$

Here L_n denotes the loss value. In this technique, the weights are forced to reduce.

L1 regularization: This technique, which aims to prevent the overfitting problem by converging the parameters towards 0, destroys the importance of some features.

Dataset

In this study, L2 regularization [31], L1 regularization [32], Dropout, GaussianDropout, AlphaDropout, Batch normalization, and Layer normalization regularization methods and their combinations have been used. These methods are frequently used to prevent the overfitting problem. These methods were added to the created base model separately. Their effects on the data set were examined, and the pairwise combinations were compared. The effects of these methods were investigated with the binary cross-entropy loss function. The data set was used as 75 % training set and 15% validation set. In other words, the training set contains 5522 data, and the validation set contains 975 data. The data set consists of

two classes. L1 normalization was added to each layer of the created base model, and training was carried out. At the end of the training, the effect of the base model and the model with normalization added was examined. This situation has been meticulously examined separately for other normalization methods. The best performing binary combination of normalization techniques on The MNIST database of handwritten digits, the Fashion-MNIST datasets, and Cifar10 datasets was investigated.

Experimental results and discussion

The simplest way to avoid the overfitting problem is to reduce the size of the created model. The size of the model is determined by the number of parameters that can learn (depending on the number of layers of the model and the number of neurons in the layers). In deep learning

applications, since the number of learnable parameters determines the capacity of the model, the model with more parameters means that it has more memory capacity. This situation causes the created model to adapt to the training data and not make correct predictions on the test data. On the contrary, if the memory capacity of the created model is limited, the learning process will be troublesome, and the model will have difficulty adapting to the training set.

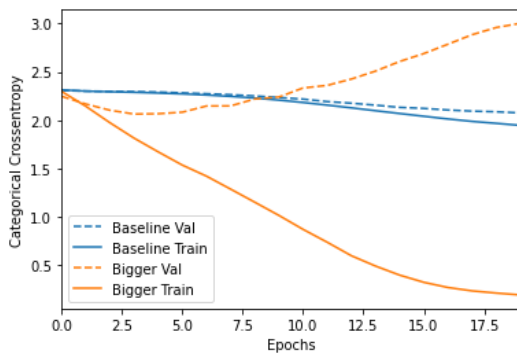
For this reason, it is necessary to provide a balance (base model) between too much capacity (large model) and less capacity (small model). In experimental studies, three different models were created to understand how to train the model with the appropriate number of epochs, ensure the balance to avoid overfitting in the training set, and provide a better model performance. The created models are named as the large, base, and small models. Information about these models is given in Table 1.

Table1. Details of the models created

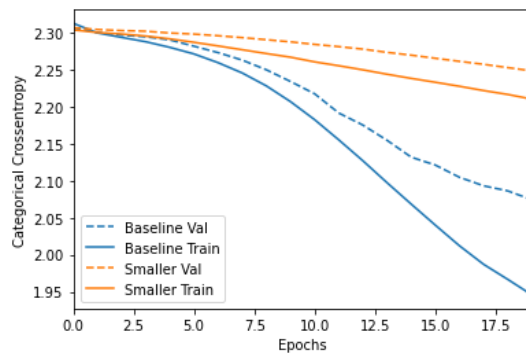
Model	number of layers	Optimizer	Loss	Activation	Epoch	Batch size
Small	4	Adam	Binary crosentropy	Relu	20	512
Base	16	Adam	Binary crosentropy	Relu	20	512
Big	512	Adam	Binary crosentropy	Relu	20	512

These models were trained on the training dataset, and the amount of loss in this process was examined. Figure 3

shows the amount of loss during training for the three models.



(a) base-big



(b) base-small

Figure 3. The amount of loss in the training data set of the models created

Overfitting occurs later than the base model created in a low-capacity network (small model). After the overfit situation occurs, the model performance decreases more slowly than the base model (see Figure 3(b)). On the other hand, overfitting in the large-capacity network has occurred almost from the beginning of the training. In the large-capacity network, the amount of loss approaches zero very quickly. In a large-capacity network, the training

data can be modeled more quickly, but this may increase the possibility of overfitting the model. In other words, while a low loss occurs in the training data set, this loss rate may increase in the validation set (see Figure 3(a)). Various normalization techniques were applied to the base model created to prevent the overfitting problem, and the training was carried out. The graph of losses during training for each technique is shown in Figure 4

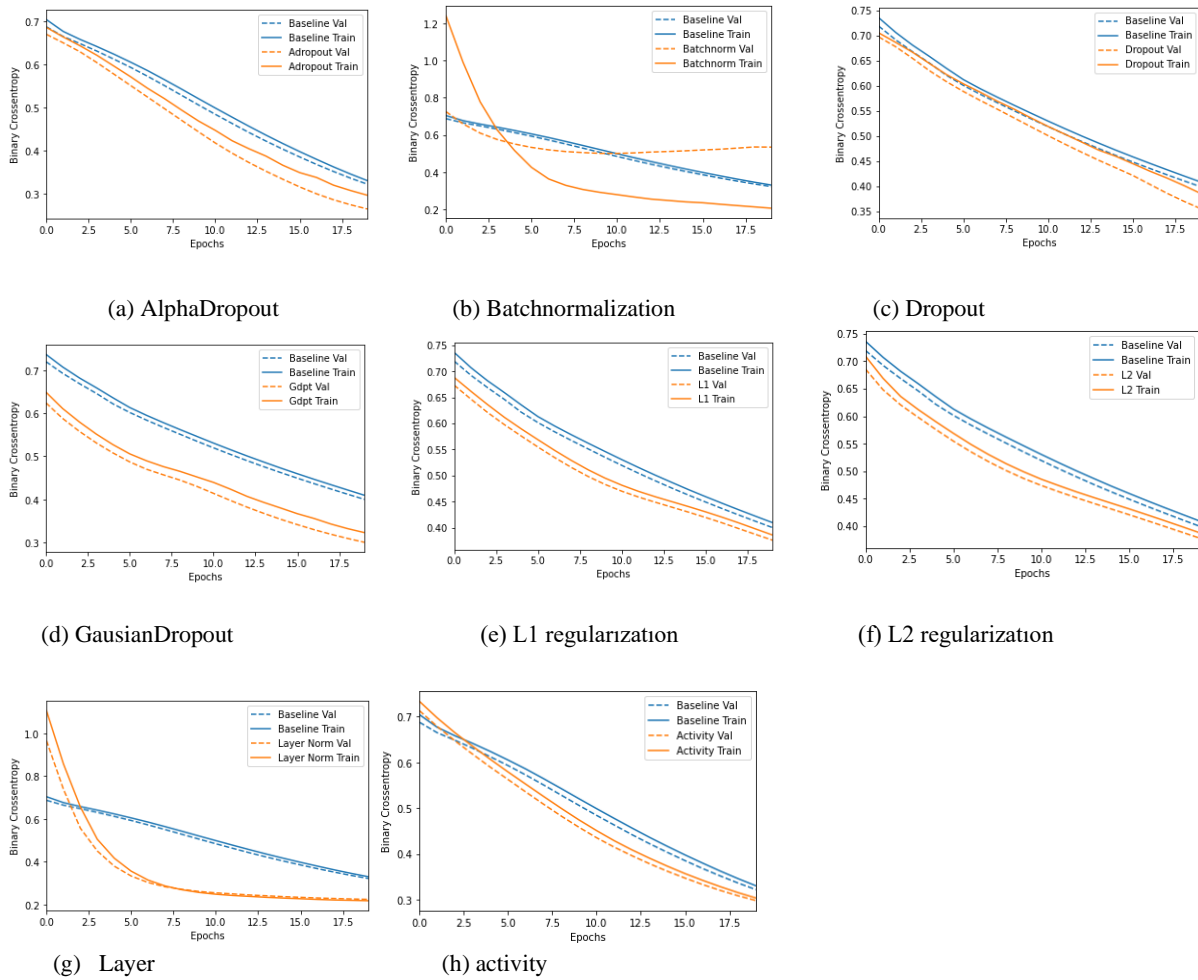
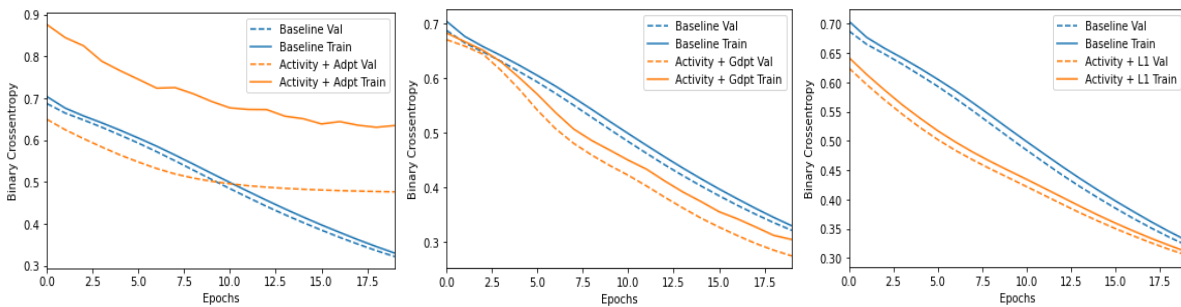


Figure 4. Comparison of normalization methods with the base model

The most common way to prevent overfitting is to add a normalization method called weight normalization to the base model, which allows the weights to take lower values by placing constraints on the network. As a result, the amount of loss in the training and validation data set is seen in Figure 4 (e) (f). Although both base and normalized models had the same number of parameters, both normalization techniques were more resistant to

overfitting than the base model. The same is true for other normalization techniques. When normalization techniques are applied, the losses between the training and validation set are reduced, thus increasing the model's accuracy. When these techniques are applied individually to the base model, they significantly reduce overfitting. In the case of using binary combinations of these techniques in this study, the loss during training is shown in Figure 5.



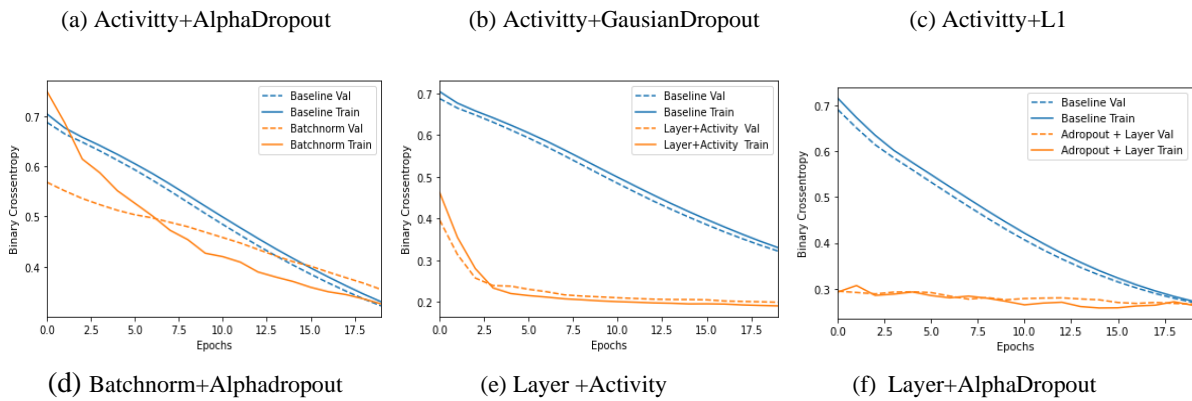


Figure 5. Loss amount of binary combinations of normalization methods

As can be seen in Figure 5, although the Binary Normalization methods used to prevent the problem of overfitting in the model, the Activity (L1-L2) and AlphaDropout pair showed good performance when used alone but did not show the same performance when used together (see Figure 5 (a)). However, when looking at Figure 5(c), the opposite situation is seen. If the binary

combinations of normalization methods are applied to the model, Layer+Activity performs better than other combinations. The amount of loss during training in this pair is much lower in the case of dual-use, considering the individual use cases. The effect of the Layer+Activity pair, which performed well in the wine dataset, on different datasets is shown in Figure 6.

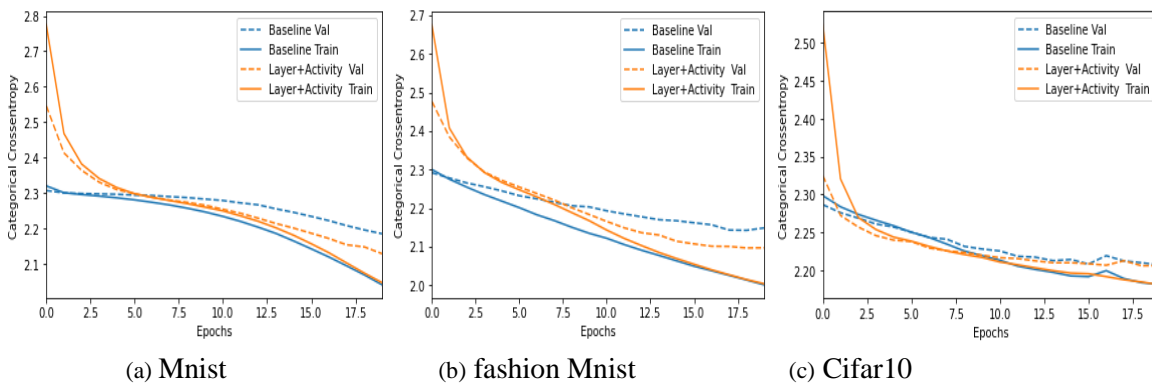


Figure 6. The effect of Layer-Activity combination on different dataset

As shown in Figure 6, the methods used to prevent overfitting can show different effects on different datasets, even though the same model is used. When both Layer and Activity normalization techniques are used alone in the wine dataset, the amount of loss during training decreases (see Figure (g), (h)). Likewise, binary reduces the amount of loss in the same dataset (see Figure 5(e)). However, it is seen that the amount of loss in the training set does not decrease in the case of using different data sets of the created model (see Figure 6). The methods used to prevent overfitting are mentioned in section 2.2, and in this study, the effect of combinations of these methods on the loss function in the model is explained. In addition, the effect of the normalization combination, which performs better than the other combinations, on different data sets is explained. Normalization combinations made on different datasets may not achieve the same in every dataset.

Conclusion

In this study, different normalization methods and the effect of combinations of these methods on model performance were investigated to prevent overfitting. At the same time, the effect of the better-determined combination on different data sets was also examined. In this context, the use of normalization methods separately or in combination to prevent overfitting can reduce the loss during training. In the study, the Layer-Activity normalization method significantly increases the model performance when compared to other combinations. However, the methods used to prevent overfitting may have different effects in different data sets.

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. Akaike, "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle," in Selected Papers of Hirotugu Akaike. Berlin, Germany: Springer, 1998, pp. 199–213.
- [2] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks". In Advances in neural information processing systems, pp. 1097–1105, 2012
- [3] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, L. Sutskever and R. Salakhutdinov. "Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting." The journal of machine learning research 15.1 2014: pp1929-1958.
- [4] S. Ioffe and C. Szegedy. "Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift". In Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML), 2015. Pp 448-456
- [5] Y. Wu and K. He, "Group normalization," in European Conference on Computer Vision (ECCV), 2018, pp. 3–19.
- [6] J. L. Ba, J. R. Kiros, and G. E Hinton. "Layer normalization". arXiv preprint 2016, arXiv:1607.06450,
- [7] D.Ulyanov, V. Andrea, and L. Victor . "Instance normalization: The missing ingredient for fast stylization." arXiv preprint, 2016 arXiv:1607.08022 .
- [8] L. Wan, M. Zeiler,, S. Zhang, Y.L. Cun, and R. Fergus,. "Regularization of neural networks using dropconnect". In Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning (ICML-13),2013., pp. 1058–1066
- [9] L. Goodfellow, F. Warde, M. David, C. Mehdi, Aaron, and Y. Bengio,, "Maxout networks". Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR), 2013, pp 1319- 1327.
- [10] R. Tibshirani. "Regression shrinkage and selection via the lasso". Journal of the Royal Statistical Society, Series B,1996 58:267 – 288,
- [11] "Batch normalization: A simple reparameterization to accelerate training of deep neural networks," in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2016, pp. 901–909
- [12] S. Akbar , M. Peikari , S. Salama , S.Nofech-Mozes , A. Martel .""The transition module: a method for preventing overfitting in convolutional neural networks. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 7(3), 260-265.. 2019; 7 (3): 260-265.
- [13] J. Deng., W. Dong, SocherR. , L.-J.Li, K. Li., and L. Fei-Fei,. "ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database". *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. Ieee, 2009. p. 248-255.
- [14] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell,, and J. Malik, "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation". In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on, pp. 580–587.
- [15] P. Cortez., A. Cerdeira., F. Almeida., T. Matos.and J.Reis, "Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties". *Decision support systems*, 2009. 47(4), 547-553.
- [16] Y. LeCun, . "The MNIST database of handwritten digits." <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/> 1998
- [17] H. Xiao K. Rasul and R. Vollgraf, "Fashion-mnist: A novel image dataset for benchmarking machine learning algorithms". arXiv , 2017,arXiv:1708.07747
- [18] A. Krizhevsky and G. Hinton, "Learning multiple layers of features from tiny images", Computer Science Department University of Toronto Tech. Rep., 2009,vol. 1, no. 4, pp. 7,.
- [19] L. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. L. Yuille, "Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs," in International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015
- [20] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Delving deep into rectifiers: Surpassing human-level performance on imagenet classification," in IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015, pp. 1026–1034
- [21] T. Araújo , G. Aresta, E. Castro, J. Rouco, P. Aguiar , C. Eloy, A. Polónia, A. Campilho.. "Classification of breast cancer histology images using convolutional neural networks". *PLoS One* 12, 2017.
- [22] Y.Wei., F. Yang,, and , M. J. Wainwright "Early stopping for kernel boosting algorithms: A general analysis with localized complexities". In Advances in Neural Information Processing Systems, 2017 pp. 6065–6075..
- [23] A. Ali,,J.Z. Kolter,, and R.J. Tibshirani,." A continuous time view of early stopping for least squares regression". The 22nd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics. PMLR, 2019. p. 1370-1378
- [24] A.Suggala., A. Prasad., and P.K. Ravikumar,."Connecting optimization and regularization paths". In Advances in Neural Information Processing Systems,2018 pp. 10608– 10619.
- [25] L. Schmidt., S. Santurkar., D. Tsipras., K. Talwar., and A. Madry. "Adversarially robust generalization requires",2018 arXiv preprint arXiv:1804.11285.

- [26] T. DeVries. and G. W.Taylor, "Improved regularization of convolutional neural networks with cutout".2017, arXiv preprint arXiv:1708.04552, .
- [27] S. Albawi , T.A Mohammed.and S. Al-Zawi, "Understanding of a convolutional neural network," 2017,International Conference on Engineering and Technology (ICET), pp. 1-6,
- [28] Ö.F Ertuğrul, E. Acar, E. Aldemir,A. Öztekin A, Automatic diagnosis of cardiovascular disorders by sub images of the ECG signal using multi-feature extraction methods and randomized neural network, 2021, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 64, 102260.
- [29] E. Acar, Detection of unregistered electric distribution transformers in agricultural fields with the aid of Sentinel-1 SAR images by machine learning approaches, Computers and Electronics in Agriculture, 2020,Volume 175, 105559,
- [30] D. M. Hawkins" The Problem of Overfitting", J. Chem. Inf. Comput. Sci. , 2004, pp 44, 1-12
- [31] T. Van Laarhoven,. "L2 regularization versus batch and weight normalization". arXiv preprint 2017, arXiv:1706.05350..
- [32] M.Y.Park., & T. Hastie, L1-regularization path algorithm for generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology),2007 69(4), 659-677.



EEG Verilerine Uygulanan Senkrosıkıştırma Yönteminin Migren Teşhisinde Kullanılması

*The Use of Synchrosqueezing Method Applied to EEG Data in the Diagnosis of Migraine*İbrahim DURSUN^{1*}, Mehmet AKIN²¹ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, ibrahimdursun02@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4689-1972² Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, makin @dicle.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5439-4824

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 1 Aralık 2021
Revizyon 20 Aralık 2021
Kabul 27 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler: Migren, KNN, DVM, Senkrosıkıştırma Dönüşümü, EEG

ÖZ

Migren, beyindeki sinir ve kan damarlarında meydana gelen değişimler sonucunda ortaya çıkan şiddetli bir baş ağrısı hastalığıdır. Migren hastalığının biyomedikal cihazlarla teşhisine dair bir yöntem henüz geliştirilmemiştir ancak literatürü incelediğimizde EEG sinyalleri kullanılarak migren hastalığının teşhisi ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığını görmekteyiz.

Bu çalışmada 18 migren hastası ve 21 kontrol grubundan oluşan 39 katılımcının EEG verileri kullanılmış olup, alınan EEG kayıtlarının Senkrosıkıştırma Dönüşümü (SSD) ile zaman-frekans bilgileri elde edilmiştir. Litereatür incelendiğinde beyin belirli bölge ve kanallarında migren hastalığının etkili olduğu görülmüş ve beyin bu bölgelerine (F1, P7, P5, T7, C5, TP7, CP5, FP1, Fz, Cz, T8, C6) kanallarının denk geldiği gözlemlenmiştir.

SSD, seçili kanallar ve tüm kanallara uygulandıktan sonra oluşan veri kümelerine; medyan, ortalama, standart sapma, basıklık, entropi ve çarpıklık işlemleri uygulanarak özellik vektörü elde edilmiştir. Özellik vektörü elde edilen veriler %25 test ve %75 eğitim verisi olacak şekilde Destek Vektör Makinaları (DVM), K En Yakın Komşu (KNN), Naive Bayes (NB) ve Karar Ağaçları (KA) sınıflandırma yöntemlerine uygulanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 December 2021
Received in revised form 20
December 2021
Accepted 27 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords: Migraine, KNN, DVM, Synchrosqueezing Transform, EEG

ABSTRACT

Migraine is a severe headache disease that occurs as a result of changes in the nerves and blood vessels in the brain. A method for the diagnosis of migraine disease with biomedical devices has not been developed yet, but when we examine the literature, we see that many studies have been carried out on the diagnosis of migraine disease using EEG signals.

In this study, EEG data of 39 participants, consisting of 18 migraine patients and 21 control groups, were used, and time-frequency information was obtained by Synchrosqueezing Transformation (SST) of the EEG recordings. When the literature was examined, it was observed that migraine disease was effective in certain regions and channels of the brain, and it was observed that the channels of the brain (F1, P7, P5, T7, C5, TP7, CP5, FP1, Fz, Cz, T8, C6) correspond to these regions of the brain.

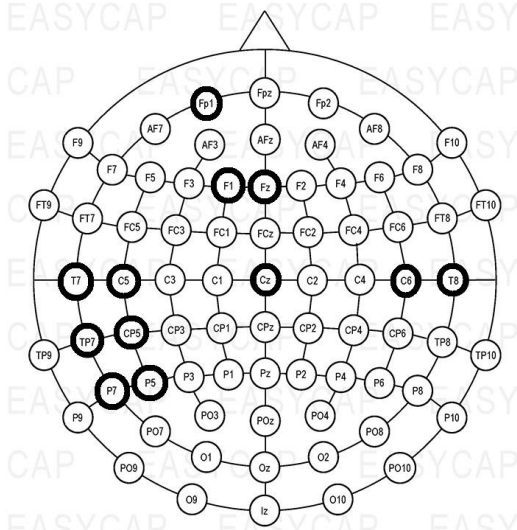
The obtained feature vector were applied to the Support Vector Machines (SVM), K Nearest Neighbor (KNN), Naive Bayes (NB) and Decision Trees (KA) classification methods, as 25% test and 75% training data, and the results were compared.

Doi: 10.24012/dumf.1051421

* Sorumlu Yazar

Giriş

Migren, en yaygın baş ağrısı çeşitlerinden biri olup insan hayatını kısmen de olsa zorlaştıran bir beyin hastalığıdır. Migren hastalığını tetikleyen (aşırı ışığa maruz kalma, aç kalma, hava kirliliği ve hava değişimi, stres vb.) birçok etken bulunmaktadır. Kesin bir migren teşhisi yöntemi henüz yetkililer tarafından kabul edilmemiş olmasına karşın, Uluslararası Baş Ağrısı Derneği (International Headache Society-IHS) kriterleri ile teşhis edilebilmektedir [1]. Literatürde otomatik migren teşhisi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır[2,3,4]. Migren hastalığının teşhisinde birçok biyomedikal cihaz kullanılsa da; hem verilerin elde edilimindeki kolaylık, hem de ağrısız bir yöntem olmasından kaynaklı olarak Elektroensefalografi (EEG) daha çok tercih edilmektedir. EEG işaretleri geniş bir frekans aralığına sahip olmasına rağmen yaygın olarak 0.3 – 30 Hz aralığındaki sinyaller incelenmektedir. Literatür incelendiğinde migren hastalığında delta (0.3-4Hz) ve teta (4-8Hz) bantlarının aktif olduğu gözlenmiş ve çalışmada bu bantlar kullanılmıştır[5,6,7]. Ayrıca beynin parietal, oksipital, temporal, frontal bölgeleri ve uluslararası 10-20 standardına göre T3-T5 kanallarında daha anlamlı veriler elde edildiği yapılan çalışmalarda görülmüş ve bu bölgeler karşılaştırıldığında yaklaşık olarak (F1, P7, P5, T7, C5, TP7, CP5, FP1, Fz, Cz, T8, C6) kanallarına denk geldiği belirlenmiş ve bu kanalların yerleşimi Şekil 1’de gösterilmiştir[2,8,9,10]. Delta ve teta bandı elde edilen EEG verilerine SSD ve (medyan, ortalama, standart sapma, basıklık, entropi ve çarpıklık) gibi istatistiksel işlemler uygulanarak özellik vektörü elde edilmiş ve DVM, KNN, NB ve KA sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Çalışmanın akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Seçilen kanalların konumlarının gösterilmesi



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması

Materyal ve Metot

Veriler

Bu çalışmada kullanılan veriler Carnegie Mellon Üniversitesinden 18 yetişkin migren hastası (ortalama yaş 27.6; dağılım 19-54 yaş; 12 kadın ve 6 erkek) ile 21, yaş ve cinsiyet uyumlu baş ağrısız kontrol (ortalama yaş 27.9; dağılım 19-54 yaş 12 kadın ve 9 erkek) grubundan alındı. Kontrol grubu yalnızca kendi bildirimlerine göre; baş ağrıları yoksa ve hiç baş ağrısı çekmemişse veya orta derecede ağrıdan daha az olan seyrek baş ağrıları varsa ve bu ağrılarla ortaya çıkan duyuş rahatsızlıkları yoksa dahil edilmiştir.

Migrenli gruptan 12 katılımcı auralı migren ve 6 katılımcı aurasız migren olarak adlandırılan Uluslararası Baş Ağrısı Derneği'nin kriterlerini karşılamaktadır. Katılımcıların hiçbirine migren dışında nörolojik veya psikolojik teşhis konulmamış, önceden ciddi bir kafa travması veya sarsıntı geçirmemiştir. Katılımcıların işitme ve görme konusunda şikayetleri bulunmamakta ve bunlarla alakalı herhangi bir tedavi görmemişlerdir. Katılımcıların EEG kayıtları 512 Hz örnekleme frekansıyla 24 bitlik bir A/D dönüştürücü kullanılarak

128 kanallı BioSemiActiveTwo sistemi ile hareketsiz halde alınmıştır[11]. Çalışmada kullanılan veriler katılımcılara herhangi bir uyartım verilmeden dinlenme durumunda alınan EEG kayıtlarıdır.

Senkrosıkıştırma Dönüşümü

Senkrosıkıştırma Dönüşümü (SSD), durağan olmayan sinyallerin yerleşmiş zaman-frekans gösterimini oluşturmak için Sürekli Dalgacık Dönüşümüne uygulanan bir ileri işlem tekniğidir[12]. Sürekli dalgacık dönüşümü, dalgacık diye adlandırılan zaman-frekans filtrelerinin ilerlemesi ile söz konusu osilasyon bileşenlerini algılayan gösterim tabanlı bir yöntem iken, Senkrosıkıştırma dönüşümü, zamanla değişen osilasyonlara sahip bir sinyali bileşenlerine ayırmayı hedefler[13]. $x(t)$ bir sinyal olmak üzere SSD'nin genel formu aşağıdaki formül ile verilir.

$$x(t) = \sum_k^K x_k(t) e(t) \quad (1)$$

Burada $e(t)$ gürültüyü temsil etmekte, $x_k(t) = A_k(t)\cos\phi_k(t)$ ise zamana göre genliği ve frekansı değişen bileşenleri göstermekte olup, genlik faktörü $A_k(t)$ ve anlık frekans olan $\phi_k(t)$ 'nin tüm k değerleri için bulunması gerekmektedir.

SSD üç adımda gerçekleşmektedir. İlk olarak $x(t)$ 'nin sürekli dalgacık dönüşümü $W_x(a,b)$ hesaplanır.

$$W_x(a,b) = \int \alpha^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t-b}{\alpha}\right) x(t) dt \quad (2)$$

İkinci aşamada $W_x(a,b)$ kullanılarak anlık frekanslar $w_x(a,b)$ bulunur.

$$w_x(a,b) = -iW(a,b)^{-1} \frac{\partial W(a,b)}{\partial b} \quad (3)$$

Üçüncü aşama ise Reassignment Method (Yeniden Atama Metodu) ile sıkıştırılması için kestirim kullanıldığı aşamadır. Bu işlemler sonucundan sinyalin SSD'si $T_x(w,b)$ bulunur. SSD tersinir bir yöntem olup, T_x biliniyorsa 'x' bulunabilir [14].

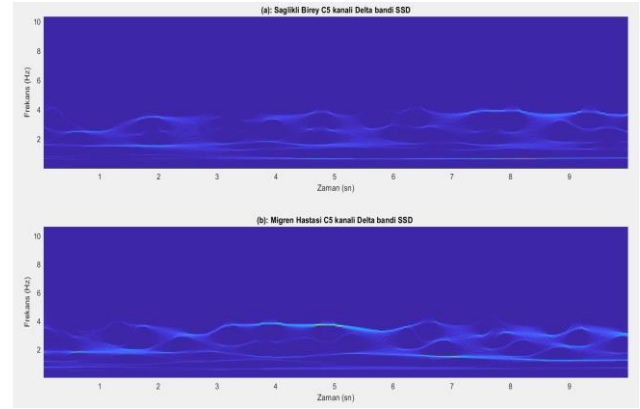
$$T_x(w_l, b) = \sum a_k : |w_x(a_k, b) - w_l| \leq \frac{\Delta w}{2} W(a_k, b) \alpha^{-3/2} \Delta a_k \quad (4)$$

Çalışmada uygulanan SSD yönteminde Morlet dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Analitik bir dalgacık olan Morlet dalgacığı, jeofizikçi Jean Morlet'in Gabor dönüşümünü Grossman ile birlikte değiştirerek kullanması sonucu ortaya çıkmıştır[15]. Morlet dalgacık fonksiyonu (5) denkleminde verilmiştir:

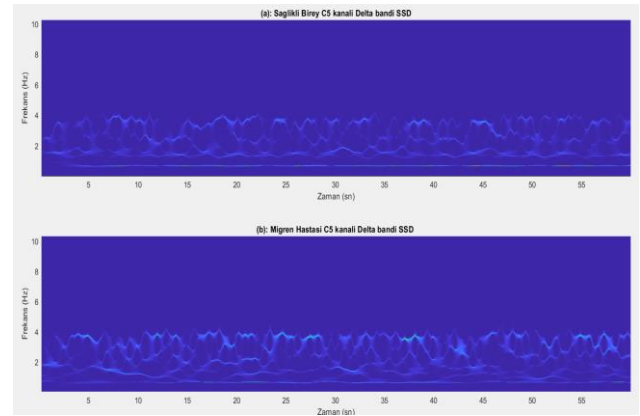
$$m(x) = \pi^{1/4} \exp(icx) \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (5)$$

(5)'de c , sabit uzaysal frekanstır ve 5 ya da 6 alınır. Morlet dalgacığı ortogonal değildir, ölçeklendirme fonksiyonu yoktur.

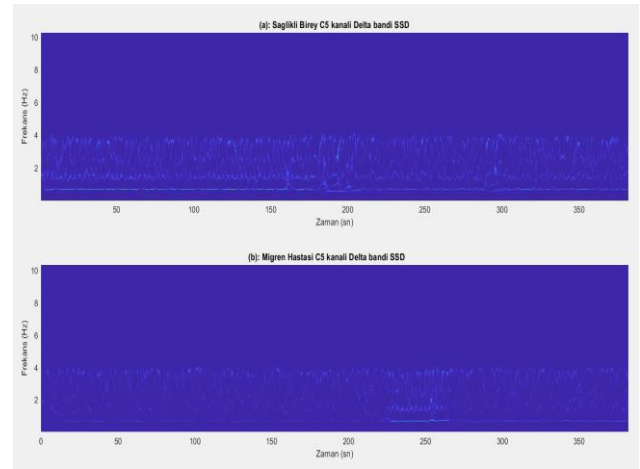
Uluslararası 10-20 standardına göre yerleştirilmiş elektrotlardan C5 kanalından elde edilmiş migren hastası ve sağlıklı kişilere ait EEG kaydının SSD uygulanmış zaman-frekans grafiği Şekil 3-5'te ilk 10 ile 60 saniye ve tüm kayıt süresini kapsayan 382 saniyelik bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Sağlıklı ve (b) Migren hastasına ait 10 saniyelik EEG verilerinin SSD uygulanmış zaman-frekans grafiği



Şekil 4. (a) Sağlıklı ve (b) Migren hastasına ait 60 saniyelik EEG verilerinin SSD uygulanmış zaman-frekans grafiği

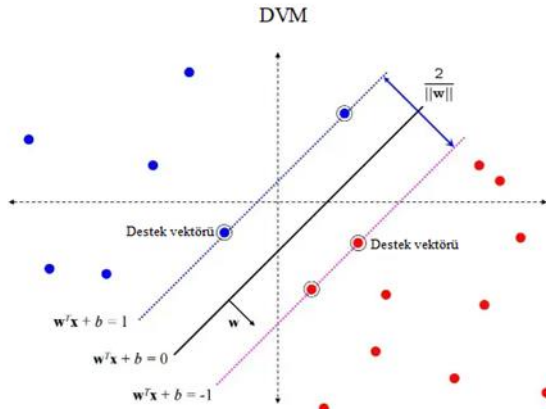


Şekil 5. (a) Sağlıklı ve (b) Migren hastasına ait 382 saniyelik EEG verilerinin SSD uygulanmış zaman-frekans grafiği

Destek Vektör Makinaları

DVM, denetimli öğrenme yöntemi olup oldukça etkili ve basit bir algoritmadır. Temelde istatistiksel öğrenme teorisi ve yapısal risk minimizasyonuna dayanmaktadır.

DVM algoritmasında sınıflandırma işlemi nesnelere -1 ve 1 olarak etiketlenmesine dayanır. DVM, sınıflandırma için bir düzlemde bulunan iki grup arasında bir sınır çizerek verileri iki gruba ayırmaya çalışır. Bu sınır çizgisi iki gruba en uzak mesafede olmalıdır. Şekil 6'da gösterildiği gibi pozitif ve negatif verileri birbirinden ayıran bir aşırı düzlem olsun. Bu düzlem üzerindeki noktalar $w^T x + b = 0$ denklemini sağlayacaktır. Burada w aşırı düzleme olan normal ve $|b|/||w||$ aşırı düzleme olan dik uzaklıktır. Aşırı düzleme en yakın pozitif ve negatif veriler arasındaki mesafeye ayırıcı aşırı düzlemin "tolerans"ı dersek, DVM bu toleransın en yüksek olduğu bir aşırı düzlemi bulmaya çalışır [16].



Şekil 6. DVM aşırı düzlemin belirlenmesi

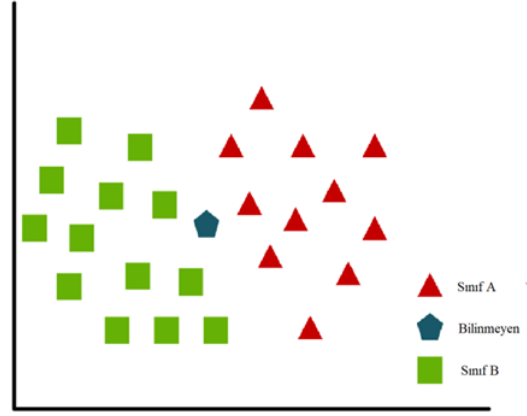
Bu düzlemin bulunması için iki veri kümesine de yakın ve birbirine paralel iki sınır çizgisi çizilir. Bu iki sınır çizgisine paralel ve eşit mesafede ortak sınır çizgisi çizilerek veriler sınıflandırılır. Şekil 6'daki düzlemde her bir noktanın tanımı (6)'daki denklemle yapılabilir

$$D = \{(x_i, c_i) | (x_i \in \mathbb{R}^p, c_i \in \{-1, 1\})_{i=1}^n \} \quad (6)$$

DVM algoritması kullanılırken rbf çekirdeği ve 1.0 trade off değeri seçilerek sınıflandırma işlemi yapılmıştır.

K En Yakın Komşu Algoritması

KNN algoritması, mevcut durumları saklayıp bir benzerlik ölçüsüne göre yeni durumları sınıflandıran basit bir algoritmadır. Algoritma temel olarak sınıflandırılacak verinin komşularıyla olan mesafesine bakıp en uygun etiket ile sınıflandırma işlemini yapmaktadır. Kendisine en yakın olan sınıfı belirlemek için bir k değişkeni kullanan algoritma sonuçları bu k değişkenine göre tahmin eder.



Şekil 7. KNN sınıflandırma algoritması

Şekil 7'de görüldüğü üzere KNN sınıflandırma algoritması, bilinmeyen veriyi belirlenmiş komşu sayısına göre kendisine en yakın verileri seçerek komşu sayısı yüksek çıkan sınıfa ait olduğuna karar verir. k komşu sayısı deneme yanılma yoluyla belirlenmekle beraber, eşit sayıda komşu sayısı çıkmasının önüne geçebilmek için tek sayı olması gerekmektedir. KNN sınıflandırma algoritmasında uzaklık hesaplamaları için genellikle 3 tip uzaklık fonksiyonu kullanılmaktadır. Bunlar;

- Euclidean Uzaklığı
- Manhattan Uzaklığı
- Minkowski Uzaklığı'dır.

$$\text{Euclidean} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (7)$$

$$\text{Manhattan} = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \quad (8)$$

$$\text{Minkowski} = (\sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|)^q)^{1/q} \quad (9)$$

Uzaklık fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri ise (7) – (9) denklemlerinde verilmiştir. Çalışmada KNN algoritmasında komşuluk sayısı üç uzaklık fonksiyonu ise Minkowski kullanılmıştır.

Naive Bayes

Bayes teoremine dayanan NB sınıflandırma yöntemi mevcut sınıflandırılmış durumdaki örnek verileri kullanarak yeni bir verinin mevcut sınıflardan herhangi birine ait olma olasılığını hesaplar. NB sınıflandırıcısında nitelikler birbirinden bağımsız, örnekler hepsi aynı derece öneme sahip ve bir özelliğin değeri başka bir özellik değeri hakkında bilgi içermez [17].

NB sınıflandırıcısının matematiksel gösterimi aşağıda gösterildiği gibidir:

$$p(y|X) = \frac{p(x|y)p(y)}{p(x)} \quad (10)$$

Burada y şartlar belirtilmediğini gösteren sınıf değişkendir. X parametresi özellikleri temsil eder. $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ olsun X 'i (10) denkleminde yerine yazarsak;

$$p(y|x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \frac{p(x_1|y)p(x_2|y) \dots p(x_n|y)p(y)}{p(x)} \quad (11)$$

Veri kümesinde tüm girişler için payda değişmez bu yüzden payda çıkarılıp orantılılık uygulanabilir.

$$p(y|x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \propto P(y) \prod_{i=1}^n P(x_i|y) \quad (12)$$

Sınıf değişkeni y bu durumda sadece iki sonuca sahiptir. Sınıflandırıcının çok değişkenli olabileceği durumlarda y sınıfı maksimum olasılıkla bulunması gerekmektedir.

$$Y = \operatorname{argmax}_y P(y) \prod_{i=1}^n P(x_i|y) \quad (13)$$

Yukarıdaki denklem kullanılarak verilen sınıfı elde edebiliriz. NB sınıflandırma çeşitleri, Multinomial, Bernoulli ve Gauss yöntemleri olup çalışmada NB Gauss yöntemi kullanılmıştır.

Karar Ağaçları

KA, kolay yorumu ve anlaşılabilirliği açısından sınıflandırma ve tahmin için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. KA tekniği sınıflama yaparken öğrenme ve sınıflandırma olmak üzere iki basamaklı işlem yapmaktadır. İlk basamak olan öğrenme basamağında önceden bilinen bir eğitim seti model oluşturmak için sınıflandırma algoritması tarafından analiz edilir. İkinci basamakta ise öğrenme basamağında oluşturulan modelin daha önce görmediği test verileri kullanılarak KA'nın doğruluğu belirlenir. Eğer doğruluk kabul edilebilir oranda ise kurallar yeni verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılır [18].

KA'da veri setindeki hangi alanların hangi sırada kullanılacağını belirlemede en yaygın olarak Entropi ölçümü kullanılmaktadır. Entropi değeri ne kadar büyük ise ortaya çıkan sonuçlar da o oranda belirsiz ve kararsız olur.

$$E(C|A_k) = \sum_{j=1}^M p(a_{k,j}) x \left[-\sum_{i=1}^N p(c_i|a_{k,j}) \log_2 p(c_i|a_{k,j}) \right] \quad (14)$$

(14) denkleminde;

$E(C|A_k) = A_k$ alanın sınıflandırma özelliğinin Entropi ölçüsü,

$p(a_{k,j}) = a_k$ alanının j değerinde olma olasılığı,

$p(c_i | a_{k,j}) = a_k$ alanı j . Değerindeyken sınıf değerinin c_i olma olasılığı,

$M_k = a_k$ alanının içerdiği değerlerin sayısı; $j=1,2,\dots, M_k$,

$N =$ farklı sınıfların sayısı; $i = 1,2,\dots,N$,

$K =$ alanların sayısı; $k = 1,2,\dots,K$.

Eğer bir S kümesindeki elemanları kategorik olarak $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ sınıflarına ayrıştırılırlarsa, S kümesindeki bir elemanın sınıfını belirlemek için gereken bilgi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$I(S) = -(p_1 \log_2(p_1) + p_2 \log_2(p_2) + \dots + p_i \log_2(p_i)) \quad (15)$$

Bu formülde p_i, C_i sınıfına ayrılma olasılığıdır.

Entropi denklemi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$E(A) = \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} x I(S_i) \quad (16)$$

Bu durumda A alanı kullanılarak yapılacak dallanma işleminde, bilgi kazancı (17) formülüyle hesaplanmaktadır.

$$G(A) = I(S) - E(A) \quad (17)$$

KA, bir düğümü alt düğümlere bölmeye karar vermek için birden fazla algoritma kullanır. Alt düğümler oluşturuldukça homojenliğide artar. Algoritma seçimi değişkenlerin tipine göre değişmekte olup en sık kullanılan algoritmalar; ID3, C4.5, C5.0 ve CART olarak sıralanabilir. Bu çalışmada KA sınıflandırıcısı kullanılırken ağaç oluşturma parametresi olarak Entropi seçilmiştir.

ID3 Algoritması

KA yapısını oluşturan birçok algoritmanın en iyilerinden biri olan ID3 (Iterative Dichotomiser 3) algoritması, Entropi'den faydalanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. Bu algoritma yinelemeli bir yapıya sahip olup sadece kategorik verilerle çalışmaktadır. ID3 algoritması 3 adımı esas alır: (C eğitim kümesi)

1. Adım: Eğer C 'deki bütün kayıtlar aynı sınıf üyesi ise, sınıfın adında bir düğüm oluşturulur ve algoritma sonlanır, değilse bir test niteliği seçilerek karar düğümü oluşturulur.

2. Adım: C kümesi, karar düğümüne göre alt kümelere ayrılır: $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$

3. Adım: Algoritma her bir C_i kümesine özyinelemeli bir şekilde uygulanır.

C4.5 ve C5.0 Algoritmaları

C4.5 algoritması KA algoritmalarından en yaygın olarak kullanılan ID3 algoritmasının geliştirilmiş halidir. C5.0 algoritması ise C4.5 algoritmasının geliştirilmiş hali olup, özellikle büyük veri setleri için kullanılmaktadır. Doğruluğu arttırmak için boosting algoritmasını kullandığından boosting ağaçları olarak da bilinmektedir. C5.0 algoritması C4.5 algoritmasına göre hafızayı daha verimli kullanarak daha hızlı sonuç vermektedir. Ayrıca C4.5 algoritmasına göre daha düzgün KA elde etmemizi sağlamaktadır.

CART Algoritması

Sınıflandırma ve regresyon problemlerinde bir çözüm olarak kullanılabilen CART algoritması hem sayısal hem de nominal veri türlerini, girdi ve kestirimsel değişken olarak alabilmektedir. Bu algoritmada KA, ikili olarak özyinelemeli biçimde bölünen bir yapıya sahiptir. Dallanma kriteri olarak Gini indeksini kullanıp sürekli bölünerek büyümektedir. Bölünmenin gerçekleşmeyeceği durumda, uçtan köke budama işlemi yapılır. Olası en başarılı KA, her budama işlemi sonrasında test verisi ile değerlendirilip tespit edilmeye çalışılır [19].

Sonuçlar

Çalışmada EEG verileri öncelikle migren hastalığının etkili olduğu bölgelere denk gelen (F1, P7, P5, T7, C5, TP7, CP5, FP1, Fz, Cz, T8, C6) kanallar ile tüm kanalları kapsayacak şekilde iki gruba ayrılmıştır ve bu

gruplarda kendi içinde migren hastası ve sağlıklı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Daha sonra bu veriler alt bantlara ayrıştırılarak delta ve teta bantları işlenmek üzere seçilmiştir. Seçilen alt bant verilerinin SSD dönüşümü ile zaman-frekans bilgisi elde edilmiş ve istatistiksel işlemler uygulanarak her iki grupta ayrı ayrı olmak üzere her bir birey için özellik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen özellik vektörleri %25 test ve %75 eğitim verisi olacak şekilde sınıflandırıcıların girişine uygulanmıştır. DVM, KNN, NB ve KA sınıflandırma algoritmaları aracılığıyla sınıflandırılan verilerin sonuçları Tablo 1-16'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Seçili kanallar DVM sınıflandırma sonuç tablosu

DVM Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	1	1	1	6
Sağlıklı	1	1	1	4
Doğruluk			1	10
Makro Ortalama	1	1	1	10
Ağırlıklı Ortalama	1	1	1	10

Tablo 2. Seçili kanallar DVM sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	6	0	6
	Sağlıklı	0	4	4
	Toplam	6	4	

Tablo 3. Seçili kanallar KNN sınıflandırma sonuç tablosu

KNN Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	1	0.83	0.91	6
Sağlıklı	0.8	1	0.89	4
Doğruluk			0.90	10
Makro Ortalama	0.90	0.92	0.90	10
Ağırlıklı Ortalama	0.92	0.90	0.90	10

Tablo 4. Seçili kanallar KNN sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	5	1	6
	Sağlıklı	0	4	4
	Toplam	5	5	

Tablo 5. Seçili kanallar NB sınıflandırma sonuç tablosu

NB Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	1	0.83	0.91	6
Sağlıklı	0.8	1	0.89	4
Doğruluk			0.90	10
Makro Ortalama	0.90	0.92	0.90	10
Ağırlıklı Ortalama	0.92	0.90	0.90	10

Tablo 6. Seçili kanallar NB sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	5	1	6
	Sağlıklı	0	4	4
	Toplam	5	5	

Tablo 7. Seçili kanallar KA sınıflandırma sonuç tablosu

KA Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	1	0.83	0.91	6
Sağlıklı	0.8	1	0.89	4
Doğruluk			0.90	10
Makro Ortalama	0.90	0.92	0.90	10
Ağırlıklı Ortalama	0.92	0.90	0.90	10

Tablo 8. Seçili kanallar KA sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	5	1	6
	Sağlıklı	0	4	4
	Toplam	5	5	

Tablo 9. Tüm kanallar DVM sınıflandırma sonuç tablosu

DVM Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	0.83	0.83	0.83	6
Sağlıklı	0.75	0.75	0.75	4
Doğruluk			0.80	10
Makro Ortalama	0.79	0.79	0.79	10
Ağırlıklı Ortalama	0.80	0.80	0.80	10

Tablo 10. Tüm kanallar DVM sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	5	1	6
	Sağlıklı	1	3	4
	Toplam	6	4	

Tablo 11. Tüm kanallar KNN sınıflandırma sonuç tablosu

KNN Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	0.80	0.67	0.73	6
Sağlıklı	0.60	0.75	0.67	4
Doğruluk			0.70	10
Makro Ortalama	0.70	0.71	0.70	10
Ağırlıklı Ortalama	0.72	0.70	0.70	10

Tablo 12. Tüm kanallar KNN sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	4	2	6
	Sağlıklı	1	3	4
Toplam		5	5	

Tablo 13. Tüm kanallar NB sınıflandırma sonuç tablosu.

NB Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	0.86	1	0.92	6
Sağlıklı	1	0.75	0.86	4
Doğruluk			0.90	10
Makro Ortalama	0.93	0.88	0.89	10
Ağırlıklı Ortalama	0.91	0.90	0.90	10

Tablo 14. Tüm kanallar NB sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	6	0	6
	Sağlıklı	1	3	4
Toplam		7	3	

Tablo 15. Tüm kanallar KA sınıflandırma sonuç tablosu.

KA Sınıflandırıcısı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor	Dayanak
Migren Hastası	1	0.83	0.91	6
Sağlıklı	0.8	1	0.89	4
Doğruluk			0.90	10
Makro Ortalama	0.90	0.92	0.90	10
Ağırlıklı Ortalama	0.92	0.90	0.90	10

Tablo 16. Tüm kanallar KA sınıflandırması hata matrisi

		Tahmin		
		Hasta	Sağlıklı	Toplam
Geçek	Hasta	5	1	6
	Sağlıklı	0	4	4
Toplam		5	5	

Tablo 1-16 incelendiğinde DVM ve KNN sınıflandırma algoritmalarında tüm kanallardan alınan verilerin sınıflandırılmasından elde edilen sonuç ile seçili kanallardan alınan verilerin sınıflandırılmasından elde edilen sonuca kıyasla başarı oranı düşmektedir. NB sınıflandırıcısında ise sonuçların tümü düşüş göstermese de bazı parametrelerinde düşüş görülmekte olup KA sınıflandırıcısında ise herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde ise DVM sınıflandırıcısının migren hastalığının etkili olduğu bölgelere denk gelen kanalların seçilmesiyle bu kanallara uygulanmasının sonucunda sınıflandırma başarısının en yüksek olduğu görülmüştür.

Tartışma

Bu çalışmada EEG verilerinin SSD yöntemiyle zaman-frekans bilgisi elde edilip migren hastalığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Literatür incelendiğinde daha çok hastalara 4-6 Hz ışık uyartımı verilerek EEG sinyallerinde oluşan değişiminden tespit edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada dinlenme halindeki bireylerden alınan EEG kayıtları ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca önceki çalışmalarda migren hastalarında beyin parietal, oksipital, temporal, ve frontal bölgelerinde hastalığın tespitinde anlamlı veriler elde edildiği belirtilmiş olsa da kanalların belirlenmesiyle ilgili çok çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada etkin olan kanalları seçebilmek için ilgili bölgelere denk gelen kanallar belirlenip sınıflandırılmıştır. Ayrıca tüm kanallarında birlikte sınıflandırma işlemi yapıp seçilen kanalların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Kaynaklar

[1] S. Batuhan AKBEN, Ahmet ALKAN, “EEG Verilerine Uygulanan Deneysel Kip Ayırımı Temelli Kümelemenin Migren Teşhisinde Kullanılması”, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa.

[2] M. De Tommaso, D. Marinazzo, M. Guido, G. Libro, S. Stramaglia, L. Nitti, G. Lattanzi, L. Angelini, M. Pellicoro, Visually evoked phase synchronization changes of alpha rhythm in migraine: correlations with clinical features, *Int. J. Psychophysiol.* 57 (3) (2005) 203–210.

[3] Jensen, K., Tuxen, C., Olesen, J. 1988. Pericranial muscle tenderness and pressure-pain threshold in the temporal region during common migraine. *Pain*, 35 (1) : 65-70.

[4] Lia, C., Carenni, L., Degioz, C., and Bottachi, E. 1995. Computerized EEG analysis in migraine patients. *Ital. J. Neurol. Sci.*, 16 : 249–254.

[5] Genco, S., De Tommaso, M., Prudenzano, A. M. P., Savarese, M., Puca, F. M. 1994. EEG features in juvenile migraine: topographic analysis of spontaneous and visual evoked brain electrical activity: a comparison with adult migraine. *Cephalalgia*, 14 : 41–46.

[6] Alberti, A., Mazzotta, M., Galletti, F. 2004. Electroencephalographic brain mapping and migraine. *The Journal of Headache and Pain*, 5 : 47-50. }

[7] Bjork, M.H., Sand T. 2008. Quantitative EEG power and asymmetry increase 36 h before a migraine attack. *Cephalalgia*, 28 (9) : 960-968.

[8] De Tommaso, M., Stramaglia, S., Schoffelen, J. M., Guido, M., Libro, G., Losito, L., Scirucchio, V., Sardaro, M., Pellicoro, M. 2003. Steady-state visual evoked potentials in the low frequency range in migraine: a study of habituation and variability phenomena. *Int. J. Psychophysiol.*, 49 : 165–174.

- [9] Drake, M.E., Du Bois, C., Stephen, B.A., Huber, J., Pakalnis, A., Denio, L. S. 2005. EEG Spectral Analysis and Time Domain Descriptors in Headache. 28 : 201-203.
- [10] Mustafa Şeker, "Gebelik Sürecindeki Migrenli Hastalarda EEG Sinyallerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2020.
- [11] M. Chaman Zar, Alireza; Haigh, Sarah; Grover, Pulkit; Behrmann, "Ultra high- density EEG recording of interictal migraine and controls: sensory and rest. Carnegie Mellon University. Dataset,," 2020. <https://doi.org/10.1184/R1/12636731>.
- [12] Ahrabian, A., Looney, D., Stanković, L., Mandić, D.P., (2015): "Synchrosqueezing-based time frequency analysis of multivariate data", Signal Processing, pp. 331-341, 2015.
- [13] Özel, P., (2019): Çok Değişkenli Sinyal İşleme Teknikleri Kullanarak EEG İle Duygu Durum Analizi, Doktora, İstanbul Üniversitesi.
- [14] Özel, Pinar & Akan, Aydın & Yılmaz, Bulent. (2017). Emotion recognition classification in EEG signals using multivariate synchrosqueezing transform. 1-4.10.1109/TIPTEKNO.2017.823
- [15] Yamamoto, A., & T. L. Lee, D. (1994). Wavelet Analysis : Theory and Applications. HewlettPackard Journal, (December), 44-52. <http://doi.org/10.1051/jp1:1997114>
- [16] Yasin KAYA, Hüseyin PEHLİVAN, "KNN, NN, BAYES, DT ve SVM Kullanılarak EKG Vurularının Sınıflandırılması", ISITES2014, Karabük.
- [17] Murat KARAKOYUN, Mehmet HACİBEYOĞLU, "Biyomedikal Veri Kümeleri İle Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması", DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 16, Sayı 48, sh 30-41, Eylül 2014.
- [18] A., Çalış, S., Kayapınar, Ç., Çetinyokuş, "Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları İle Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama", Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Dergisi Cilt: 25 Sayı: 3-4 Sayfa: (2-19), 2014
- [19] Sezer, E. A., Bozkır, A. S., Yağız, S., Gökçeoğlu C.2010. "Karar Ağacı Derinliğinin CART Algoritmasında Kestirim Kapasitesine Etkisi: Bir Tünel Açma Makinesinin İlerleme Hızı Üzerinde Uygulama," Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Kayseri.



Human posture prediction by Deep Learning

Hediye Nupelda KANPAK^{1*}, M. Ali ARSERİM²

¹ Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, h.nkanpak@gmail.com, Orcid No: 0000-0001-5806-7126

² Dicle University, Electrical-Electronics Engineering Department, marsirim@dicle.edu.tr, Orcid No 0000-0002-9913-5946

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 December 2021
Received in revised form 29
December 2021
Accepted 30 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Human pose estimation, motion
detection, human body recognition
and tracking

Doi: 10.24012/dumf.1051429

* Corresponding author

ABSTRACT

Interpreting the human posture in human videos and pictures constitutes the most basic structure of human posture prediction. A system is created that decides what the movement is and what purpose it is made by evaluating pictures and videos. In this way, a structure has been created that determines and classifies human movements as an automatic system. A mechanism of motional meaning contained in the created system has been recognized in such away that the pattern is expressed. It is intended to take advantage of these components by taking instant information. A result was obtained by primarily inferring instant still images and eliminating time intervals that do not contain information range. A classification was made according to their accuracy. Based on the location coordinates of the images and videos, it was tried to determine how people might react in the neck stage. Thanks to the analysis performed through the joints with optical flow calculation, motion information was obtained and classifications and analyses expressing the power of motion were created. Motion information on the region determined in the image is determined by the detection of joints, revealing the power generated by movement. The created histograms provide ease of classification of motion. Based on the reliability of the descriptions, which include the concept of the time in a sequential way with the detection of joints, it was desired to create a sliding classification mechanism within the framework of these joints. As a result of this study, it was aimed to obtain a functional structure that can recognize and understand the autonomous movement of stationary or moving beings. An efficient structure has been created in terms of providing a useful and facilitating mechanism by solving the problems in estimation.

Introduction

Human posture prediction is a very important step to understand the actions of people in the video or pictures discussed. The main action is to determine the locations of the joints that make up the skeleton[1]. Determining, perceiving and interpreting the human movements in the human appearance is important in terms of making sense of the images discussed in the videos. The multifaceted content of human movements has made these studies more important. The perception of human movements, recognition of mimics, editing of videos, easy search of the desired content in videos, and the common class created by guessing provide great convenience. This class contains large changes within the data[2]. Depending on these changes, it has been tried to create a forecasting environment in a challenging area. The discovery of smart solutions for video, which is increasing today, increases the need for human posture predictions[3].

It has been seen that a system that can analyze human movements can help in obtaining the necessary information[4]. Contrary to popular belief, estimation is more difficult than expected. It differs from person to person, although it is within certain periods, including the natural behaviors that people do without realizing it.

The positive or negative effects of factors such as light, environment and clothing also greatly affect the estimation. There are great differences even between movements belonging to the same person in the same class. Perceiving and interpreting these movements and classifying them is difficult and complex, contrary to what it seems. Generally, a system is formed by grouping people from top to bottom. Structures that can be estimated are used in applications where various video and camera images are available online and offline, as well as pictures[5].

Monitoring vehicles from cameras in public transportation such as subway, detection of criminals or suspects from security cameras on streets and avenues, detection of thieves from cameras at home or in companies can be given examples to online applications. On the other hand, detection of the movements of the athletes in the close-up areas from the cameras in various competitions, detection of the movements of the reporters and people in the news, looking at the details of the performances of the actors who took part in the concerts and various shows can be accepted as offline applications[6].

Situations expressing the concept of motion are called primitive. Primitive actions constitute actions. Movement activities occur when actions form a meaningful and interpretive whole.

In human motion detection studies, extracting images from videos and classifying the corresponding movements are generally fundamental. It is based on how the system works as a whole by extracting features from the images and then creating a classification obtained from these features. In classification, both internal and external variations are among the factors that directly affect the correct conclusion in estimation. The most difficult and restrictive studies in motion recognition are camera movement and dynamics with unwanted movements[7].

Disappearance of certain or all parts of the human body in the image, the change of camera angle and the focus area are the most basic factors that can make estimation difficult.

Situations such as timing, motion start and end can make a difference in every situation, as well as adversely affect the generalization situation in motion recognition, make classification difficult. The temporal dimension is the biggest problem, even if everything else is well and there are no problems[8]. It is aimed to increase the success percentage by creating a label of the movement class and making widespread classification in performing the actions in the definition category at low, medium and high levels[9]. Figure 1 shows the skeleton prediction model in different postures.



Figure 1. Guessing pose figures [37]

In this study, it is aimed to establish a systematic detection of key points in the mechanism created for body estimation, to find a wide range of joints, to detect these points, to determine how to eliminate the errors seen and to predict instantaneous movements in a systematic way. In the mechanism, which was carried out on a piece-based basis, a focal point window was created in each joint frame, ensuring that factors such as background influence at a minimum level and the resulting error rate in estimation was kept lower compared to other methods. With the help of deep learning, the system, which was maintained as 7 layers, was started. The biggest advantage in these methods is that by focusing only on the content of the image, the desired image was obtained and that image is estimated. This neural network was used to detect each joint and joint regressor. Graphic models were used for the formulation system. Human posture positions was

strengthened when a high-resolution mechanism was created with the detection of interactions between joints by graphic modeling. These approaches have been found to perform well in appearance and in estimating moments of difference. Evaluation of the datasets, with the help of the python software used in the study and the opencv library, results based on human posture estimations were obtained. The football matches, which was in the domain of the data set, were based on the goal moments of Cristiano Ronaldo. The time intervals at the time of the goal were included in these images. Estimating through these intervals yielded highly successful results. The efficiency of the estimation system was measured by using snapshots according to the right, left and rear views. In Python, it is aimed to make a prediction mechanism of data sets in accordance with the prediction created by the deep learning model. With this method, it was deemed appropriate to use a deep learning system model to identify key points in the body and connect the joints. When the body parts are used with window openings, the skeleton mechanism has been made independent of the background.

The following sections were described in the article, respectively: In the Introduction section, the study in the article was explained. Material and Methods used in the study were explained in the Material and Methods section. In the Method part, it was determined how the estimation mechanism will be finalized section by section. In the Results and Discussion section, the results obtained in the study were given. In the conclusion part, the data on the accuracy of the study was shared and the efficiency of the study is shown.

Material and Methods

In this study, snapshots in videos and pictures available to the public are used. Data set is consisted of images belong to football matches and human prediction is made in the python software. When the images were examined, the movements of the people were made sense. While estimating, joint points were numbered first. Then, these joints were combined with their key points and the prediction results were finalized as skeletons.

Method

The current methodology consists of several steps. The estimation mechanism is created by determining the silhouettes with Euclidean extensions and forming them gradually.

Determining the edge points and detecting the joints by utilizing the optical flow properties is the most effective method in general.

A motional signification mechanism in the created system is recognized in such a way that the pattern is expressed. It is aimed to take advantage of these components by taking instant information. A result is obtained by eliminating the time intervals that do not contain information by firstly extracting the snapshots. A classification was made according to the accuracy margins. It has been tried to determine how people can react in the

next stage, based on the location coordinates in the pictures and videos[10].

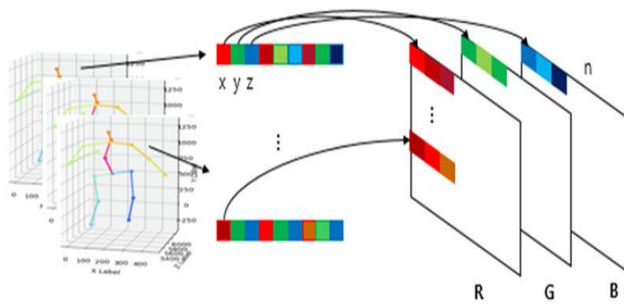


Figure 2. Joint data conversion to RGB image [6]

Before specifying the location coordinates, image analysis was done with RGB. The schematic representation of this analysis is given in figure 2.

When the matrix coordinates shown in Figure 3 are determined, it is possible to form part inferences. With simultaneous joins of pairwise matches with keypoint tags, all joints are grouped at once. The created part is called pose[11]. After the key points are detected, the connections of the joints are transferred to the multi-layer sensors. Common configurations are learned, sample data sets are created according to these configurations.

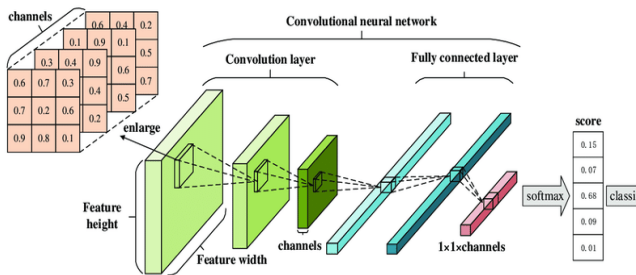


Figure 3. Convolutional neural network (CNN) structure [32]

In convolutional neural networks, an adequate understanding of the image is provided with multiple sensors. Reducing the number of parameters and at the same time minimizing the learning time improves the estimation process. The decrease in the number of data is important in terms of estimation speed.

Key points in the human body consist of 135 points in real time for the body, face, hands, feet. The number of key points in the study used was 17 as shown in Figure 4. These key points consist of nose, right and left eyes, ears, shoulders, elbows, wrists, hips, knees, ankles. In Figure 4, the skeletal mechanism is formed as a result of the combined structure of the edge pairs between the key points[12].

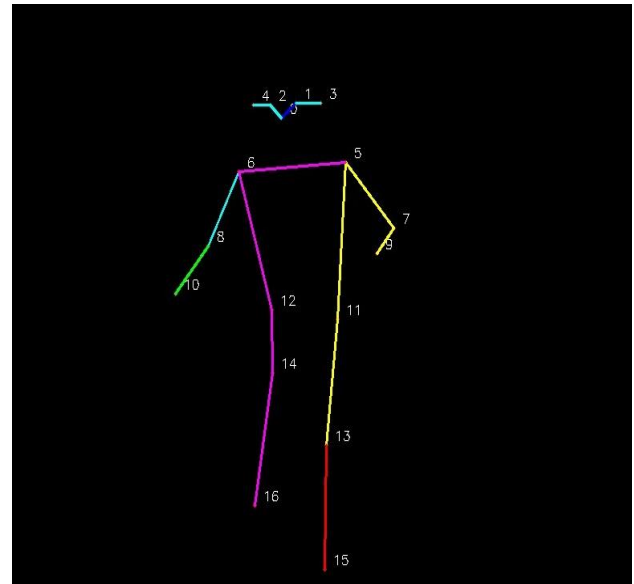


Figure 4. Key points identification and estimation methodology [35]

Human joint detection based on images is an example of symbolizing flexible modeling parts. Mixture modeling created to model joints is created with a flexible structure. Capturing is performed by establishing a relationship between the positions in the parts. After determining the relationship between the joints, templates are created[13].

3D KEYPOINTS AND THEIR SPECIFICATION

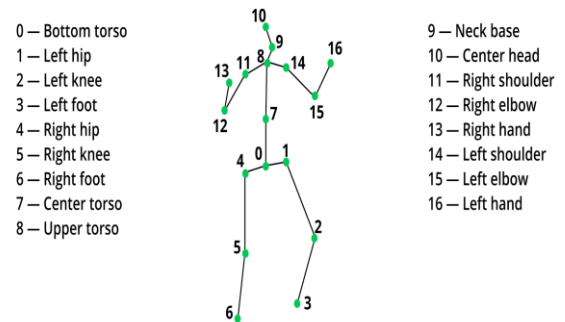


Figure 5. 3D Key Points [36]

In Figure 5, an efficient optimization joint is formed by afforestation. Everything about joints that appear local is based on spatial relations and the relations of formation of these joints.

i) Receiving video footage

The data containing the instant video recognition system is as in Figure 6. For this system, it measures the quality of the motion class by estimating the data of the new sequences in the data set containing the images. Categorizing the data determines the quality of the prediction by determining the class of motion prediction made.



Figure 6. Snapshot recognition dataset in football dataset

ii) Gesture recognition based on conditions

The first stage of the study is to remove the background outside the focused image in the images taken from the video inputs and to collect the necessary information to bring the area of interest to the foreground.

Then, the motion class is determined by filtering with the optical flow mechanism. Estimation is made by finding the key points in the gradient pattern joints, which are ordered from light to dark. Class is formed due to the differences in the human posture, the way the movements are made, the movement of the camera, the lighting, and the differences in the perspective effect. The abundance of information from its diversity provides a great advantage for this classification. Once accepted as input to an image, the direction of encoder motion is outlined by inferring convolution block features as a contraction. An architectural result is created thanks to the regressors connected to the coordinates. First of all, instead of coding the key points directly, it first creates a pose frame in that region[14]. The flow chart of the study is shown in figure 7.

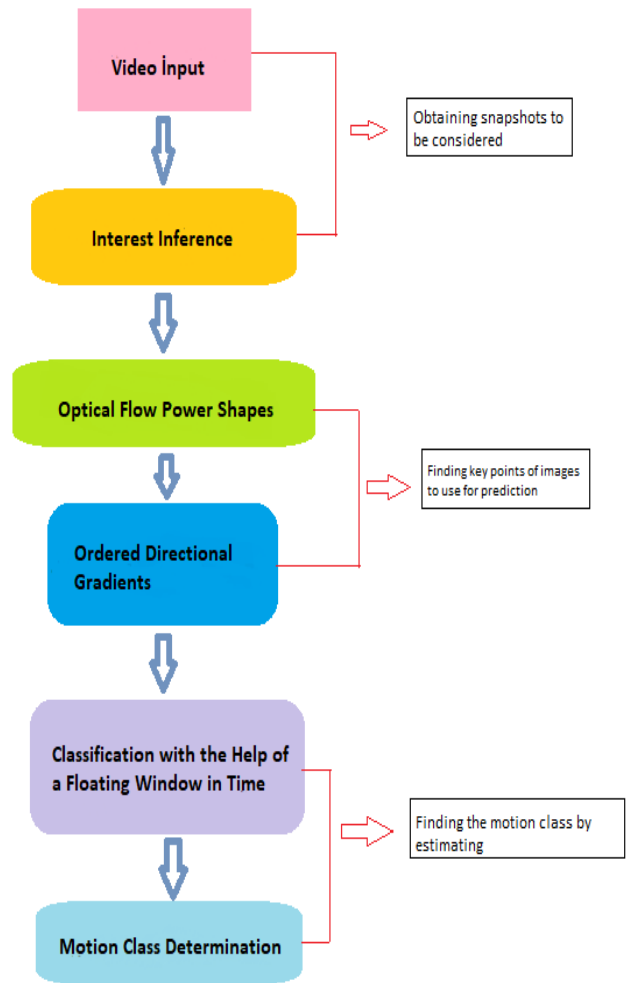


Figure 7. Estimation system structure diagram

iii) Area of Interest Inference

The portion of the video snapshot containing the human body silhouette is of interest to the estimation. The main factor in the inference focuses on the human body, regardless of the background. Converting color data to gray is the next step.

$$gray\ level\ value = [0.299\ 0.587\ 0.114] + [RGB]^T \quad (1)$$

The region is accepted by combining the key points with the analysis of the coordinates of a part of the human body as a result of background subtraction. Background extraction, ambient light, brightness, external factors are minimized.

The biggest factor in taking the bounding boxes as a basis in the pose mechanism is that focusing on the human body to be estimated will leave the difficulties behind and make the estimation easier. In this system, background difficulties seem to have a minimal effect. Area of interest extraction with temporal windows is shown in Figure 8.



Figure 8. Extraction of interest in the data as a result of the analysis

iv) Optical Flow Power Shapes

The main purpose of the optical flow is to determine the strength of the joint parts in motion by performing the filtering process, instead of only detecting the direction of movement of the human body. Thus, the filtering process led to the disappearance of the information necessary for the prediction and ensured the protection of the necessary data. The pattern is created by combining the edge information of the moving images. When feature extraction is provided using the pattern, it provides an environment for the histogram that examines the transition features. It is obtained that the brightness in the image does not change depending on the temporal flow and does not change with time for each image[15].

Using the Hom-Schuck method, it is obtained (2) that the brightness in the image does not change depending on the temporal flow, and for each image, depending on the (x, y, z) coordinates at time t.

$$\left(\frac{dl}{dt}\right) = 0 \tag{2}$$

The chain rule is applied after applying optical flow to the snapshot in the data set as in (3).

$$\left(\frac{dl}{dx}\right) * \left(\frac{dx}{dt}\right) + \left(\frac{dl}{dy}\right) * \left(\frac{dy}{dt}\right) + \left(\frac{dl}{dt}\right) = 0 \tag{3}$$

(u, v) shows the change in (x, y) coordinates in these diagrams.(4)

$$\left(\frac{dx}{dt}\right) = u, \left(\frac{dy}{dt}\right) = v \tag{4}$$

By arranging these inferences, the expression 5 is obtained.

$$I(x) * u + I(y) * v + I(t) = 0 \tag{5}$$

The inferences obtained above are not used alone on the properties of optical flow. Considering that the neighboring pixels of the base pixels will have similar flow movements, (x, y) coordinate components are included in the fluency constraint to form the solution of the system.

$$\left(\frac{d^2u}{dx^2}\right) + \left(\frac{d^2u}{dy^2}\right) = \Delta^2u, \left(\frac{d^2v}{dx^2}\right) + \left(\frac{d^2v}{dy^2}\right) = \Delta^2v \tag{6}$$

In order to obtain optical flux values, minimum brightness and fluency constraints are required. It is required to have zero error for normal time. However, a brightness error occurs. To solve this, equation 7 is used in the background.

$$\epsilon^2 = \iint (\alpha^2 \epsilon^2(c) + \epsilon^2(b))d(x)d(y) \tag{7}$$

Optical flow powers were calculated by calculating the change in any direction in the coordinate plane by finding the amount of change with the method used. The edge features are determined more clearly, and the clear view of the human body posture is obtained without being dependent on the environment (8).

$$\epsilon^2 = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} \tag{8}$$

v) Ordered Directional Gradients

After the optical flow power is determined, the part containing the motion information consists of these gradients. Extraction of the edge features of the human body in the image is obtained. Inferences were made with the HOG method. The HOG method finds out by recognizing the human body.

vi) Motion Class Determination

If HOG is used, when n windows are arranged, a successful analysis containing time and motion information in $81 \times n$ size is created. The HOG descriptor is very important in terms of the movements of the $81 \times n$ size descriptors, which are obtained by successful and highly ordered direction gradients, in the n -dimensional time window in $81 \times n$ size descriptors lined up one after the other. The system includes the concepts of time and motion [16]. Based on the speed concept of the real-time system, k -NN neighborhood is used. When using nearest neighbors, identifiers are generated and the nearest neighbors to the joints are identified to find key points [17]. When it captures similar features, it finds the closest option. The distance (m) between the data to be trained for the nearest neighbor (p) and the items to be classified (q) is calculated and the target is found.

$$\begin{aligned} & ((p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_m - q_m)^2)^{1/2} = \\ & ((m) \sum_{i=1}^m (p_i - q_i)^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (9)$$

The $81 \times n$ size identifiers show continuity in the motion detection part depending on the tags. With RGB and HOG ease of use motion detection, posture estimation is created [18].

Results and Discussion

The algorithms used in this study helped to solve the human pose estimation problem. The data set was collected from the videos of football matches, and consisted of Cristiano Ronaldo's image when he scored a goal. Tree modeling method was used and the area of interest is inferred. After the area of interest extraction, the parts called part poses were determined and the coordinates were determined. As a result of these stages, the joints are determined. Classification of joints by combining them revealed clearer results. Thus, limb points are provided. Each key point has a combination of right, left, up and down. The resulting system is the skeletal mechanism. When the systematic prediction is taken as 17 key points in the exposure mechanism, it was seen that the data in direct video images showed the best accuracy. The N -solid kinematic skeleton model has brought the forecasting quality to the highest level with the pipe system. Classification has been simplified. Ambient light, brightness in the snapshot and external factors are minimized. The concept of time was kept within the framework of importance and allowed the emergence of a successful mechanism. Cristiano Ronaldo's goal moments in the data set were examined from many angles, and it was determined in which positions he scored with the key point detection. In order to increase the accuracy in data sets, the accuracy level has reached a successful level thanks to the RGB camera when the common information is labeled in detail and matched.

It has been observed that the RGB camera does not decrease the estimation accuracy. It has been observed that more accurate results are obtained when ear and eye detection is performed in data sets with specific movements. As the angle of the camera changed, the accuracy of the estimation result decreased with the decrease in key points. It has gained speed thanks to convolutional neural networks and the prediction mechanism has gained functionality with a minimum data set.

Conclusion

The Openpose system is aimed to realize a real-time system for 17 key points, with a total of 135 key points in the whole body in the images. Openpose has open-sourced the work in the library repository, enabling pipelines between command line interfaces Python API and Unity plugins and joints. Communities made easy with nvidia, cuda, opencv, cpu support. All joint positions were found for separation. It was determined which joints would come together for the body parts. Peak information was included for the (x , y) position. Quan Hua's deep learning model was used as a database for this posture prediction [31].

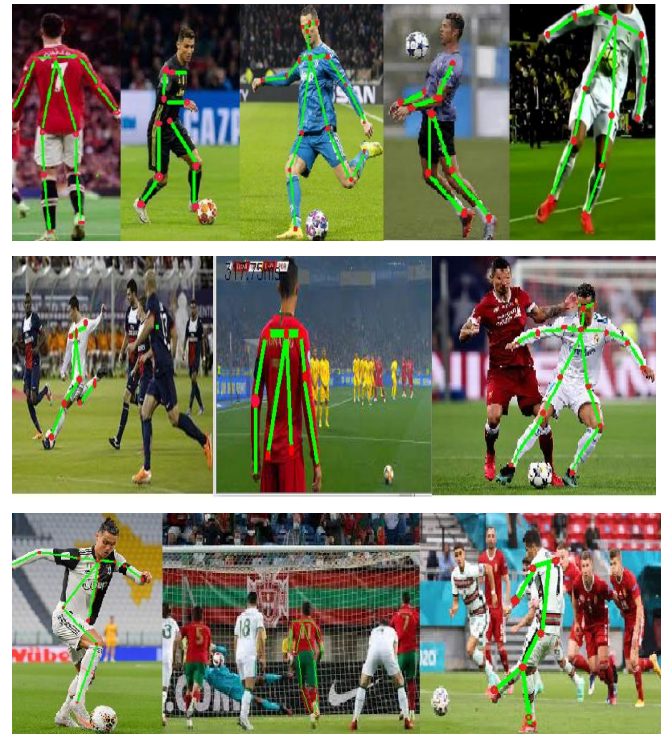


Figure 9. Human Exposure Estimation Results

Real/Estimation	Front View	Right View	Left View	Back View
0	92.7	78.4	77.3	79.7
1	90.6	72.5	73.6	73.6
2	91.3	73.7	74.8	75.3
3	89.5	79.5	78.5	78.5
4	87.6	77.4	79.5	74.6
5	90.2	73.5	91.7	91.2
6	89.3	90.4	70.3	88.3
7	90.5	79.4	93.4	91.6
8	89.6	91.2	90.6	87.5
9	90.9	70.2	92.8	86.8
10	89.9	89.9	85.4	89.5
11	90.3	75.4	92.4	91.3
12	89.6	90.1	71.1	88.2
13	90.7	74.1	90.6	88.9
14	89.8	90.8	72.0	87.8
15	91.1	81.2	93.2	92.3
16	90.1	91.2	70.7	89.2

Figure 10. Estimation Accuracy Rates

The table shown in Figure 10 contains the accuracy results of the estimation mechanism. Considering the key points in the data used, four positions was taken as a basis: front, back, right and left. By identifying 0-4 key points, other parts of the body was passed. Left body parts show less accuracy in right view, while right body parts show less accuracy in left view. In the rear view model, the key points covering the eyes and nose are less accurate.

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

Nupelda Kanpak and M. Ali Arserim : Estimation mechanism formation, Carrying out the estimation study of the data in the data set, writing the article

References

- [1] Parekh, P., & Patel, A. (2021). Deep Learning-Based 2D and 3D Human Pose Estimation: A Survey. In *Proceedings of Second International Conference on Computing, Communications, and Cyber-Security* (pp. 541-556). Springer, Singapore.
- [2] Souvenir, R., & Babbs, J. (2008, June). Learning the viewpoint manifold for action recognition. In *2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1-7). IEEE.
- [3] Yang, Y., & Ramanan, D. (2012). Articulated human detection with flexible mixtures of parts. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(12), 2878-2890.
- [4] Wang, Y., Huang, K., & Tan, T. (2007, June). Human activity recognition based on r transform. In *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1-8). IEEE.
- [5] Ramanan, D. (2006, December). Learning to parse images of articulated bodies. In *Nips* (Vol. 1, No. 6, p. 7).
- [6] Lee, J., & Ahn, B. (2020). Real-time human action recognition with a low-cost RGB camera and mobile robot platform. *Sensors*, 20(10), 2886.
- [7] Tran, D., & Forsyth, D. (2010, September). Improved human parsing with a full relational model. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 227-240). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [8] Weinland, D., Ronfard, R., & Boyer, E. (2006). Free viewpoint action recognition using motion history volumes. *Computer vision and image understanding*, 104(2-3), 249-257.
- [9] Chang, M. C., Qi, H., Wang, X., Cheng, H., & Lyu, S. (2015). Fast Online Upper Body Pose Estimation from Video. In *BMVC* (pp. 104-1).
- [10] Eichner, M., Ferrari, V., & Zurich, S. (2009, September). Better appearance models for pictorial structures. In *Bmvc* (Vol. 2, p. 5).
- [11] Yang, Y., & Ramanan, D. (2012). Articulated human detection with flexible mixtures of parts. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(12), 2878-2890.
- [12] <https://mobidev.biz/blog/human-pose-estimation-ai-personal-fitness-coach>
- [13] Toshev, A., & Szegedy, C. (2014). Deeppose: Human pose estimation via deep neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1653-1660).
- [14] https://nanonets.com/imagerecognition?&utm_source=nanonets.com%2Fblog%2F&utm_medium=blog&utm_content=How%20to%20Classify%20Fashion%20Images%20easily%20using%20ConvNets

- [15] Sethi, S., Kathuria, M., & Kaushik, T. (2021). Face mask detection using deep learning: An approach to reduce risk of Coronavirus spread. *Journal of Biomedical Informatics*, 120, 103848.
- [16] Rosebrock, A. (2020). Covid-19: Face mask detector with opencv, keras/tensorflow, and deep learning. Link: <https://www.pyimagesearch.com/2020/05/04/covid-19-face-mask-detector-withopencv-keras-tensorflow-and-deeplearning>.
- [17] <https://github.com/prajnasb/observations>
- [18] Newell, A., Yang, K., & Deng, J. (2016, October). Stacked hourglass networks for human pose estimation. In *European conference on computer vision* (pp. 483-499). Springer, Cham.
- [19] Quan Hua, "Human Pose Estimation in OpenCv" Link: [human-pose-estimation-opencv/LICENSE at master · quanhua92/human-pose-estimation-opencv · GitHub](https://github.com/quanhua92/human-pose-estimation-opencv)
- [20] Pons-Moll¹², G., Taylor¹³, J., Shotton, J., Hertzmann¹⁴, A., & Fitzgibbon, A. (2013). Metric regression forests for human pose estimation. *BMVC*.
- [21] Andriluka, M., Iqbal, U., Insafutdinov, E., Pishchulin, L., Milan, A., Gall, J., & Schiele, B. (2018). PoseTrack: A benchmark for human pose estimation and tracking. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 5167-5176).
- [22] Andriluka, M., Iqbal, U., Insafutdinov, E., Pishchulin, L., Milan, A., Gall, J., & Schiele, B. (2018). PoseTrack: A benchmark for human pose estimation and tracking. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 5167-5176).
- [23] Wang, J., & Payandeh, S. (2017). Hand motion and posture recognition in a network of calibrated cameras. *Advances in Multimedia*, 2017.
- [24] Remelli, E., Han, S., Honari, S., Fua, P., & Wang, R. (2020). Lightweight multi-view 3d pose estimation through camera-disentangled representation. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 6040-6049).
- [25] Zhao, M., Li, T., Abu Alsheikh, M., Tian, Y., Zhao, H., Torralba, A., & Katabi, D. (2018). Through-wall human pose estimation using radio signals. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7356-7365).
- [26] Sarafianos, N., Boteanu, B., Ionescu, B., & Kakadiaris, I. A. (2016). 3d human pose estimation: A review of the literature and analysis of covariates. *Computer Vision and Image Understanding*, 152, 1-20.
- [27] Rogez, G., & Schmid, C. (2016). Mocap-guided data augmentation for 3d pose estimation in the wild. *arXiv preprint arXiv:1607.02046*.
- [28] Chen, W., Wang, H., Li, Y., Su, H., Wang, Z., Tu, C., ... & Chen, B. (2016, October). Synthesizing training images for boosting human 3d pose estimation. In *2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV)* (pp. 479-488). IEEE.
- [29] Fabbri, M., Lanzi, F., Calderara, S., Alletto, S., & Cucchiara, R. (2020). Compressed volumetric heatmaps for multi-person 3d pose estimation. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7204-7213).
- [30] Liu, R. (2019). *Attention Based Temporal Convolutional Neural Network for Real-Time 3D Human Pose Reconstruction*. University of Dayton.
- [31] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2019). OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 43(1), 172-186.
- [32] Kang, X., Song, B., & Sun, F. (2019). A deep similarity metric method based on incomplete data for traffic anomaly detection in IoT. *Applied Sciences*, 9(1), 135.
- [33] Sengupta, A., Budvytis, I., & Cipolla, R. (2020). Synthetic training for accurate 3d human pose and shape estimation in the wild. *arXiv preprint arXiv:2009.10013*.
- [34] Duan, K., Bai, S., Xie, L., Qi, H., Huang, Q., & Tian, Q. (2019). Centernet: Keypoint triplets for object detection. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 6569-6578).
- [35] Sovit Ranjan Rath, et, al. "Human Pose Detection using PyTorch Keypoint RCNN." *Machine Learning and Deep Learning*, 2020
- [36] Sarafianos, N., Boteanu, B., Ionescu, B., & Kakadiaris, I. A. (2016). 3d human pose estimation: A review of the literature and analysis of covariates. *Computer Vision and Image Understanding*, 152, 1-20.



Research Article

Research on electrical strain gages and experimental stress analysis: Case study for a full wheatstone bridge

Gürkan İrsel^{1,*}

Trakya University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Eng., Edirne, Turkey, gurkanirsel@trakya.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-0828-6560>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 October 2021
Received in revised form 26 October 2021
Accepted 7 November 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Strain gages, Wheatstone bridge circuit, Experimental stress analysis, Data acquisition system

ABSTRACT

This study investigated electrical strain gage technology, which is widely used in experimental stress measurement, on an application. Strain gages are used to precisely measure strain directly in a system. This method is carried out to verify the numerical and analytical calculations performed or to record the strain data generated during the active duty of a system and to investigate the fatigue damage. In particular, verifying numerical calculations in the strength-material recovery optimizations of mass-produced systems contributes to the development of the system. In this study, strain measurement using strain gage and strain measurement technology is presented on an application. Information was given about strain gages. A full bridge wheatstone bridge consisting of 4 linear gages was created on a prototype. The system was tested with a load cell validation. Structural finite element analysis of the prototype and analytical calculation of the fullbridge strain gage connection were performed. The results showed that the measurement with the strain gauge differed 1.20% and 1.40% from the analytical and numerical results, respectively. Thus, precision strain measurement technology was successfully presented in engineering systems.

Doi: 10.24012/dumf.1051434

* Corresponding author

Introduction

Strain gages are used to measure the strain on an object with high measurement accuracy and small dimensions. Strain gages were invented by Edward E. Simmons and Arthur C. Ruge in 1938 [1]. They are used successfully in airplanes, especially in wing and landing gear, in heavy equipments, especially in chassis and gears, bridges, cranes, ships, automobiles, constructions etc. where stress measurement is important. Strain gages are electrical sensors. When a displacement occurs on the strain gauge, there is a change in its electrical resistance and with this change the amount of strain is measured. Stress value is obtained by associating this strain value with material properties. Today, there are gages developed for different materials and different applications. The use of strain measurement has increased in obtaining more durable lighter structures, in verifying the theoretical strength models of objects with complex geometry, in examining products in field tests and in revealing safety conditions. Strain measurement with strain gauges is carried out with special amplifiers (data acquisition system). This measurement requires many interrelated components and application expertise, from the selection and positioning of

the strain gages to the visualization of the measurement with software.

There are special strain gauges that are welded and screwed to the surface, which are used for long-term stress measurement, but the common one is to stick the strain gauges to the surface to be measured strain. Strain gauges are commercially available in linear, 0/45/90, 0/60/120, T (0/90), shear format. Stress measurement in special systems can be done easily by using these traditional models together. There are many types and sizes of gauges and strain gauges are selected from the catalogues for application. The data acquisition system is selected depending on how many gauges will be collected simultaneously. Special software is also used to display and save strain data from the data acquisition system [2]. Connections of the strain gauges and measurement calculations are also a specialty. Strain measurement configurations are quarter, half and full bridges.

There are some studies where strain gauges are used for experimental stress measurement. Celik et al. [3] designed a crane that could be mounted on a tractor. After producing this crane, they attached strain gages to certain locations.

They measured the strain at these locations with the HBM 840A using a 0/45/90 degree rosette and determined that numerical calculations and strain gauge measurements were compatible. Lisle et al. [4] measured the tension in the teeth of internal gears using a strain gauge with a wheatstone bridge connection and compared them with the numerical results. In Wheatstone bridge, compensation was performed to eliminate the temperature effects. This demonstrated that the stress measurement was performed accurately on complex surfaces such as gears [5]. Moustabchir et al. [6] developed and validated an experimental technique using strain gauges for the determination of strain distribution in pressurized cylindrical tanks. It has been determined that the verification of numerical calculations with strain gauge measurements will reduce the need for experimentation. Yürdem et al. [7] performed a stress analysis on a plow using a strain gauge. In their study, they used linear gauges and analyzed the system by converting stress measurements in different axes to von Mises stress. They found that the obtained results were compatible with the numerical solutions [8]. Ma et al. [9] measured stress with a strain gauge in a bridge maintenance and test vehicle. The tension in the system was recorded at the time of operation by sticking the gage at a distance of 20 mm from the welded area. Using this stress data, the fatigue calculation of the system was also performed. Patil et al. [10] carried out the experimental testing and analysis of the helical gear using the gear dynamic stress test rig. Stress measurements were performed on the gears with a strain gauge. Experimental analysis was validated by finite element contact analysis. Gao et al. [11] successfully measured the stress on the pipe surface with a strain gauge in the bending test of a pressure pipe. Lisle et al. [12] measured the stress at the root of the tooth using a strain gauge. They used these measurement results to validate numerical and analytical solutions. They placed rosettes at three different locations and measured for different gear calculation methods. They found that the numerical and analytical results were consistent with the strain gauge results. They found that validation of numerical calculations was an effective scientific method to reduce experimental requirements for gears in the future. Almeida et al. [13] developed strain gauge-based ring sensors to measure the dynamic forces coming into the system in wind tunnel testing. They created a full bridge wheatstone bridge circuit in these rings. Thus, they improved the aerodynamic structure by precisely measuring the stress in the system. Yunjiang Lou et al. [14] performed strain gauge measurement and topology optimization studies in their study. Wheatstone bridge was used in the measurement. In 1843, British physicist Sir Charles Wheatstone invented a bridge circuit to measure electrical resistances. In this bridge circuit, known as the Wheatstone bridge circuit, unknown resistors are compared with well-defined resistors. The Wheatstone bridge is well suited for measuring small changes in a

resistor and is therefore used to measure the change in resistance in a strain gauge (SG) [1][15]. Studies with detailed presentations on strain measurement with strain gauge are limited. This study aimed to eliminate these deficiencies both scientifically and industrially.

The aim of this study is to present the whole measurement process with strain gauge, to create a full-bridge wheatstone bridge on an application, to perform the stress measurement in the system experimentally, and to demonstrate the applicability of this method in scientific and industrial studies with today's technology. Measurements were made with strain gauges in a circular hollow steel body. Measurement values were compared with numerical and analytical calculations.

Strain Gages Technology

The gauges consist of carrier material (a), measuring grid (b) and connections (c) (Fig. 1). The strain value is calculated by precise measurement of the strain-related resistance change in the measuring section. The deformation is $\Delta L: L_0-L_1$, The strain is $(\epsilon) = \Delta L / L_0$. The stress (σ) calculation can be made in linear elastic materials by the strain value and the elastic modulus of the material. Hooke's law in linear materials is calculated with the formula $\sigma = E \cdot \epsilon$. Stress can be measured by using strain gauges for ductile and brittle materials up to the limit of elasticity specified in the typical tensile tests seen in Fig. 2.

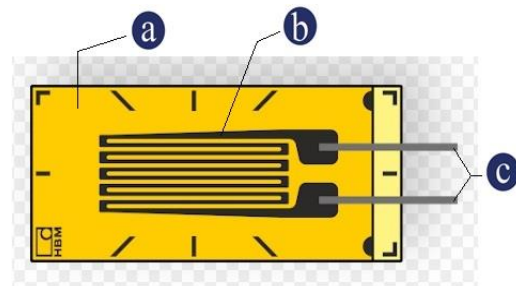


Figure 1. Linear strain gauge.

Strain gauges are electrical sensors. The change in resistance in strain gauges is precisely measured with a wheatstone bridge. Depending on the measurement requirement and precision, one or more strain gauges are used at the measuring point. Quarter bridge using 1 linear gage, half bridge using 2 linear gages, and wheatstone bridge using 4 linear gages are called full bridges. In fact, the circuit used for measurement is always complete. There are four resistors in the system. Non-variable resistors are complemented by fixed resistors. Quarter bridge, half bridge and full bridge configurations are shown in Fig. 3. For example, there are special sockets with developed electronics for quarter-bridge measurement. The connections of these sockets are made according to the data sheet of the brand (Fig. 4).

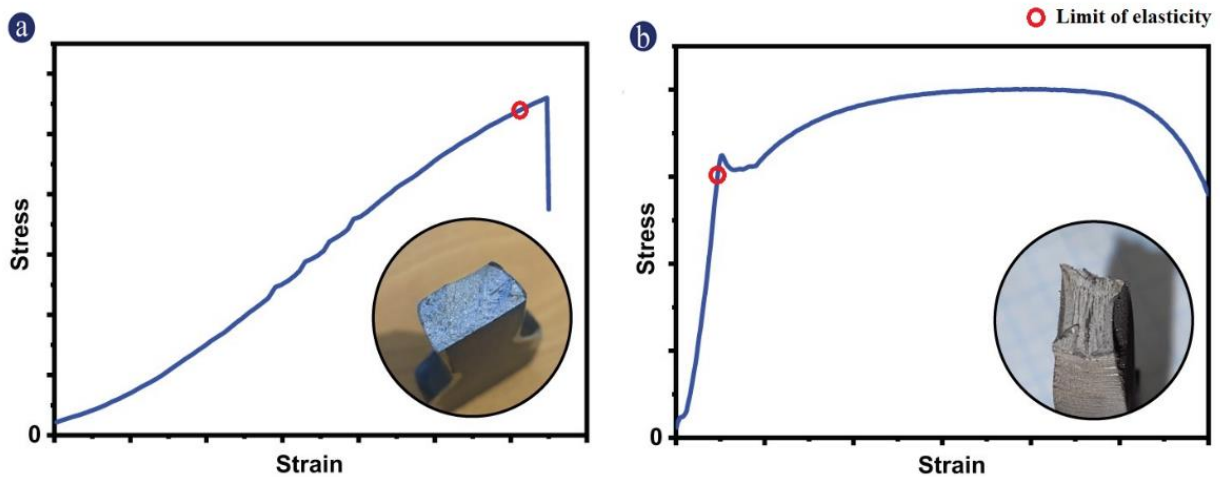


Figure 2. Steel stress-strain a) Characteristic of a brittle material b) Characteristic of a ductile material.

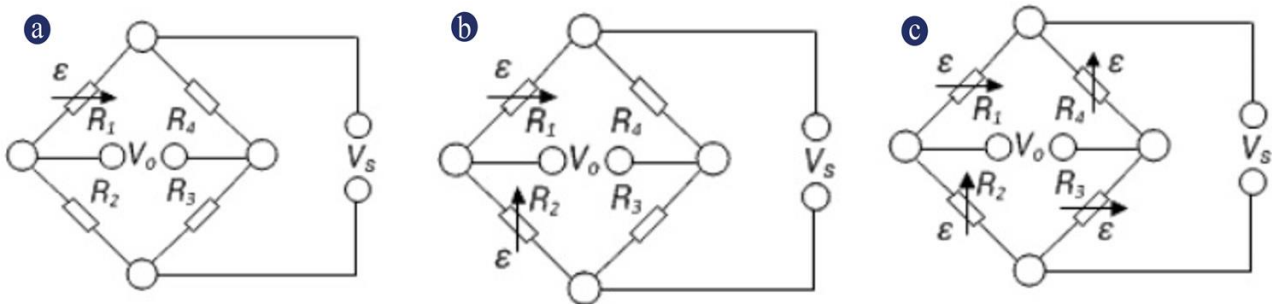


Figure 3. Wheatstone bridge circuits a) quarter bridge, b) half bridge, c) full bridge.

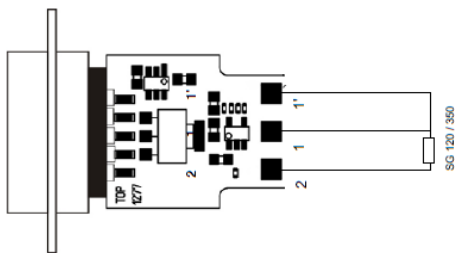


Figure 4. Example of a quarter bridge measuring adapter.

In this study, Full bridge configuration is discussed. Data acquisition system connection diagram of full bridge wheatstone bridge is shown in Fig. 5. In order to avoid confusion, the amplifier connection was made using a special colored signal cable. When a force is applied to a system to which strain gauges are attached, the change in resistance values on all 4 gages can be precisely measured with this system. In this connection consisting of 4 gages, gages 1 and 3 are positioned in the direction of force, and gages 2 and 4 are positioned at an angle of 90 degrees to the force direction. Strain in the wheatstone bridge seen in Fig. 5 is calculated with equations 1, 2 and 3. In equation

2, $\epsilon_2 = \epsilon_1 \times \nu$ because the gage number 2 is 90 degrees perpendicular to the force direction. ν poisson's ratio is 0.3.

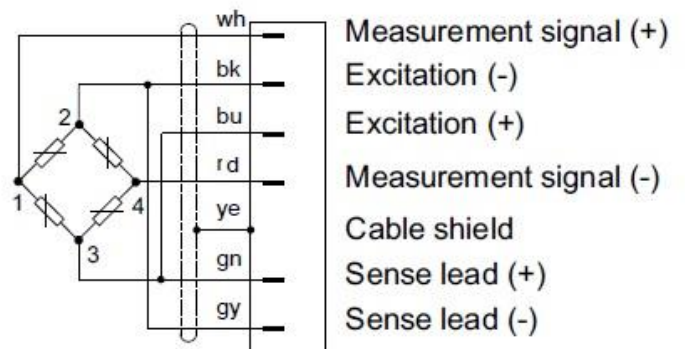


Figure 5. Wheatstone bridge data acquisition system connection diagram.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{k}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + -\epsilon_4) \quad (1)$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{k}{4} [\varepsilon_1 - (-\nu\varepsilon_1) + \varepsilon_3] \quad (2)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_n = \frac{1}{2(1+\nu)} \times \frac{4}{k} \times \frac{V_0}{V_s} \quad (3)$$

Experimental study

In this study, a circular part was modeled with CATIA for measurement with a wheatstone bridge. This steel piece with an outer diameter of 100 mm and an inner diameter of 80 mm and a height of 80 mm was produced. A full bridge wheatstone bridge was designed using 4 linear gages (Figure 6). Gages 1 and 3 were marked in such a way that the gages 2 and 4 were 90 angled in the direction of force and the gages were precisely positioned.

Gages 1 and 2 are shown in the Fig. 6. Gages 3 and 4 are located at the back symmetrically. The cable connection of the system is presented in Fig. 5. For the steel material, linear gage HBM-LY61-6/350A, (Universal SG for stress analysis) strain gauge series Y was selected. The characteristics of this linear gage are: k: 2.01 (The k Factor is the strain sensitivity of a strain gauge, k is the proportionality factor between the relative change in resistance $\Delta R/R_0$ and the strain to be measured with ε). The transverse sensitivity rate of this gage is 0.3%. (The transverse sensitivity is the ratio of the sensitivity of a strain gauge transverse to the measuring grid direction to its sensitivity in the measuring grid direction). Measuring grid material of gage is constantan, carrier foil: polyimide. Temperature response: ferrite steel (10.8 ppm/K), Nominal resistance: 350 ohms, measuring grid length: 6 mm. HBM -3133.0034 PVC-insulated ribbon cable was used for the amplifier connection with the Wheatstone bridge. This special cable consists of 6 leads, cross section per lead: 0.14 mm², resistance: 0.131 Ohm/m, thermal resistance of the cable is -10°C to +70°C. Solder terminal was used for internal connection of strain gauge wheatstone bridge. The surfaces to be bonded to the gage were created with 100 and 330 grid sandpapers, respectively, with a roughness of approximately 6 μm. The surface was cleaned with pomades and necessary tools. The gage was moved to the desired position with a special tape. The gages were fixed with HBM Z70 adhesive. In this bonding process, pressure was applied on the gage with a finger for about 2 minutes. Teflon film layer was used to prevent the finger from sticking. Whether the gages adhered to the surface properly or not was tested with a special conveyor belt. Resistance was measured with an multimeter on the gage. Thus, it was

checked whether there was any damage to the gages or an unexpected resistance value. The connections of the gages were made in accordance with the scheme and cable colors indicated in Fig. 4. It was prepared for measurement with a sufficient length of 1-3133.0034 HBM brand cable socket connection (Fig. 6) and connected to the Quantum HBM MX840B data collection device. A compression load cell with equal HSC-V 60t model calibration was used to instantly measure the force applied to this Annular application piece. This load cell is connected to the HBM quantum MX840B device with the E-MDL-DAC ECI analog board. With the CatmanEasy software compatible with the HBM MX840B data acquisition system, both the wheatstone bridge strain value and the force were simultaneously measured and recorded. The application ring and gage positions are shown in Fig 6.



Figure 6. Wheatstone bridge implementation piece.

A load was applied to the application piece with a 30-ton compression device and an ALSA brand 30t compression tester at a compression speed of 1mm/min (Fig. 7). The load value and instantaneous stress value were recorded. Similar to Fig. 8, variable loading was applied to the piece, on which wheatstone bridge was applied, with the INSTRON 8501 device with a load capacity of 50 kN, and the stress and force values were recorded.

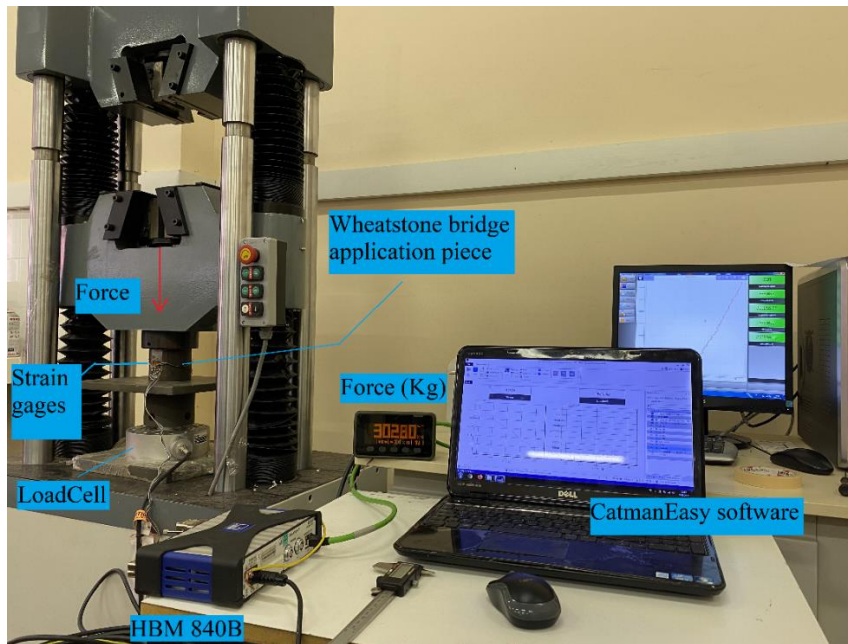


Figure 7. Force-strain measurement at 30 tons load.

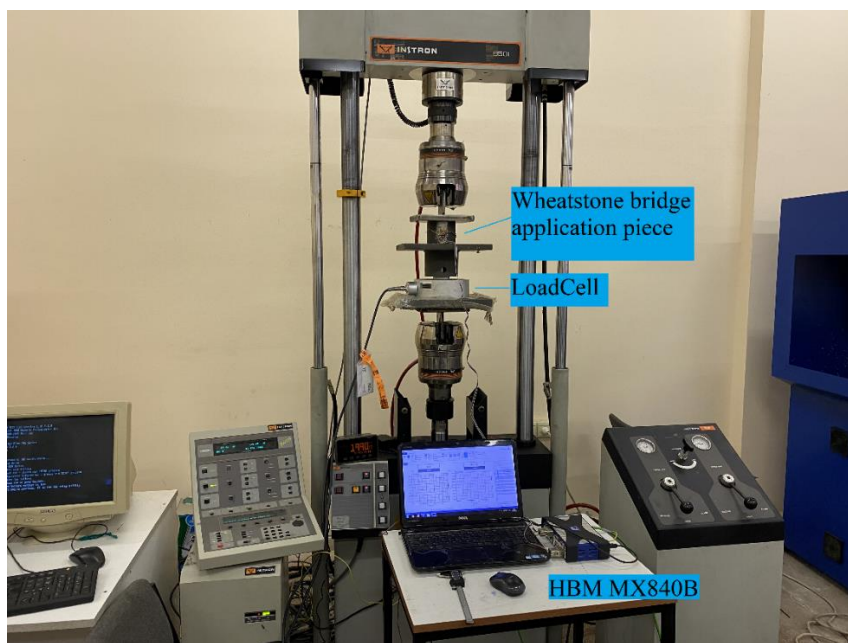


Figure 8. Force-strain measurement under variable loading.

Results and discussion

In this study, the details of the experimental stress analysis performed with a full wheatstone bridge created with strain gages are presented. Experiments of this application were carried out successfully. Half-bridge and quarter-bridge circuits are frequently used due to their ease of connection and less gage requirement [16]. However, a full-bridge circuit is the most suitable configuration for strain gauges. It provides the highest sensitivity and the least error

component, and since the full bridge produces the highest output, it is least affected by electrical noise [17]. For these reasons, a full bridge should be used whenever possible. The resistance of the gauges adhered to the system was measured with an multimeter and their suitability for strain measurement was determined. Cable checks were carried out. As a result of the experiments carried out in the laboratory, force-time (Fig. 9) force-strain graphs were obtained for 30 tons of loading (Fig. 10). These graphs are simultaneous.

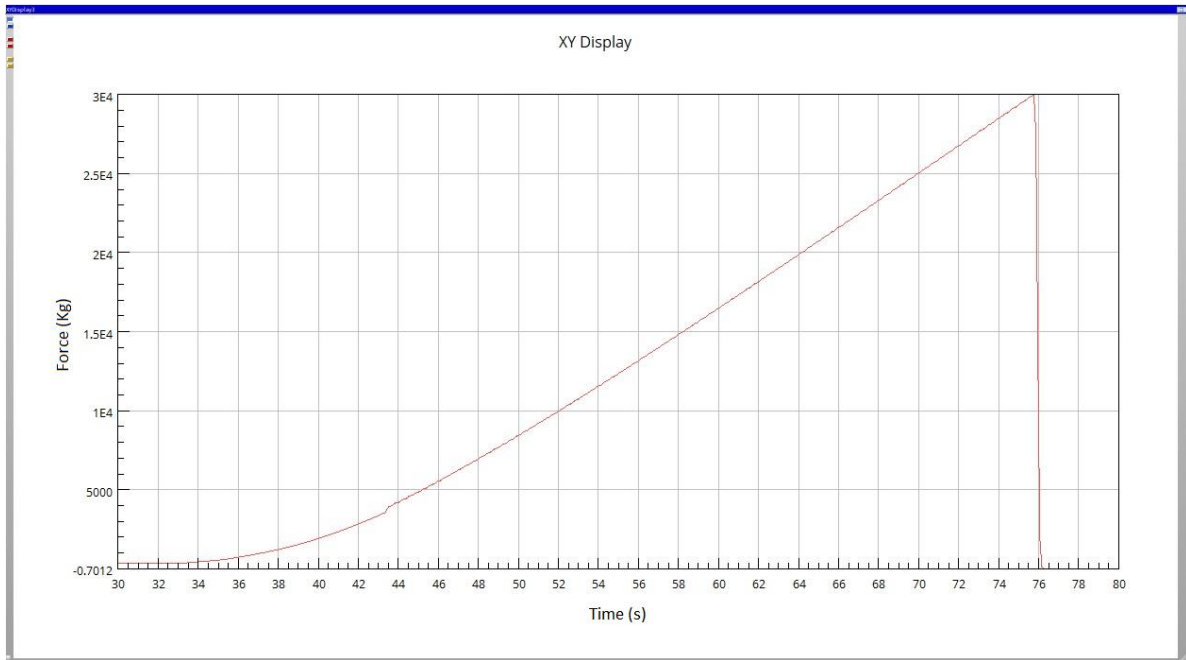


Figure 9. Force- time graph.

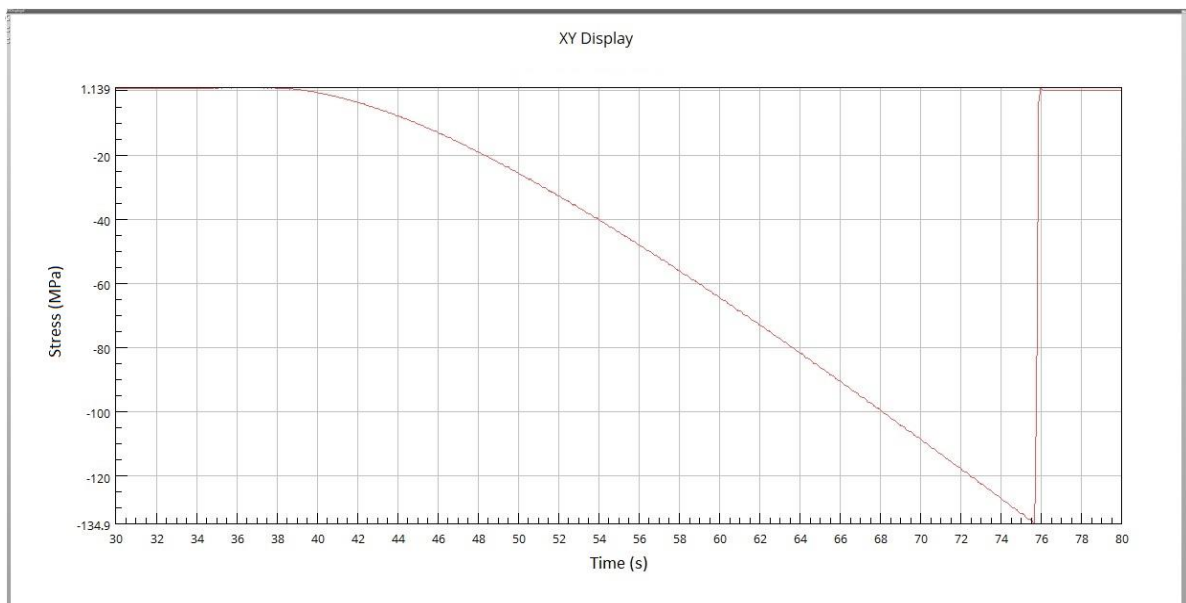


Figure 10. Wheatstone bridge Stress- time graph.

Stress measurement was carried out stepwise by keeping the application piece with Wheatstone bridge connection by increasing 5-50 kN and 5 kN increments for certain periods of time. Strain and stress values of this measurement are shown in Fig. 11-12. A strain of 22.95 MPa was measured for 50 kN. The stress measurement steps shown in Fig. 12 show the continuity and stability of

the stress measurement [18]. These two graphs are created simultaneously. In the finite element analysis solution performed for the application part for a load of 50 kN, the strain at the strain gauge position was obtained as 22.624 MPa (Fig. 13) [2]. This numerical result is very close to the measured stress value. Stress values measured with numerical results are 98.6% compatible.

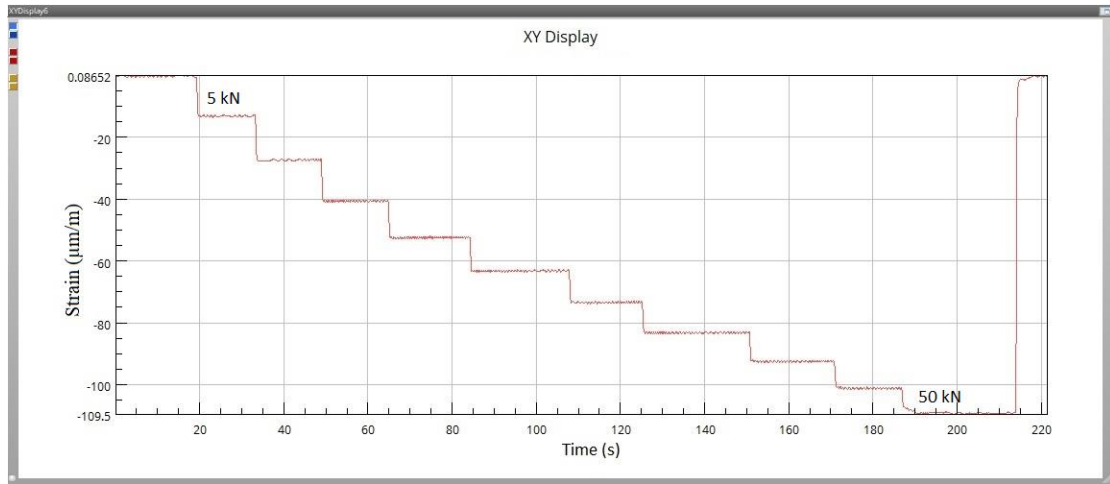


Figure 11. Strain-time graph.

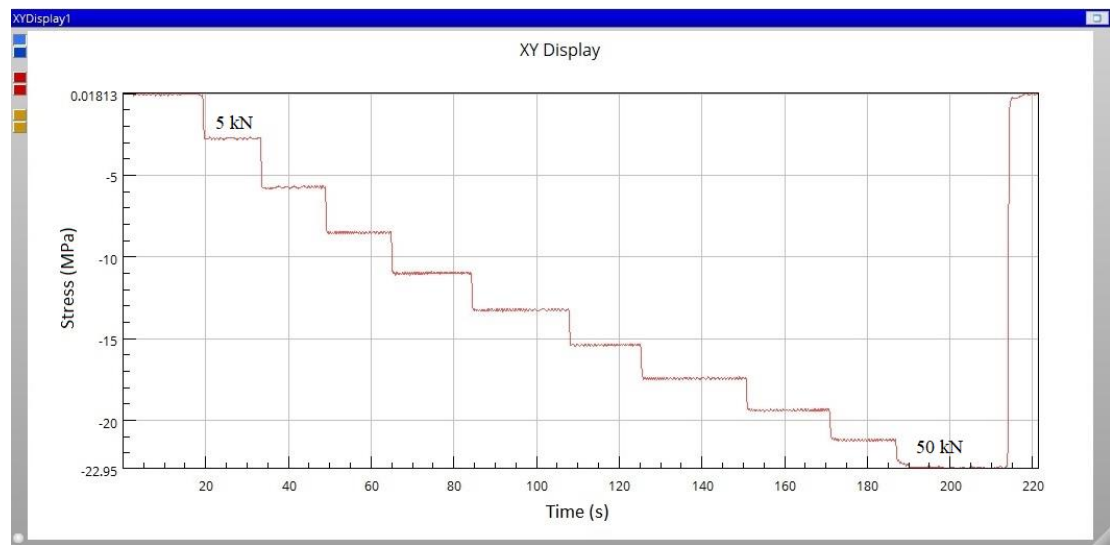


Figure 12. Stress-time graph.

B: Static Structural
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises)
 Unit: MPa
 Time: 1

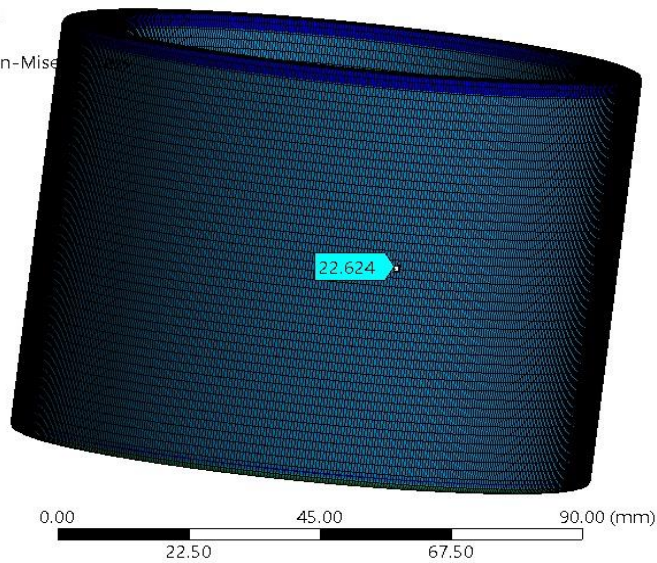
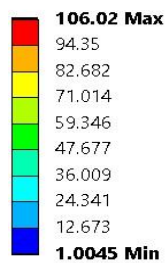


Figure 23. Finite element stress analysis of the application part.

The fatigue behavior of the systems is calculated by recording the experimental stress measurements under variable loadings. Optimization processes are carried out successfully with these data in aircraft, automobiles, defense industry vehicles and generally construction machines, which are planned to be mass-produced today

[4][19][20][21][22]. In this study, strain and stress data created by variable loadings on the application part were precisely measured and recorded. In the loading simulation seen in Fig. 14, the stress-time graph seen in Fig. 15 was obtained simultaneously.

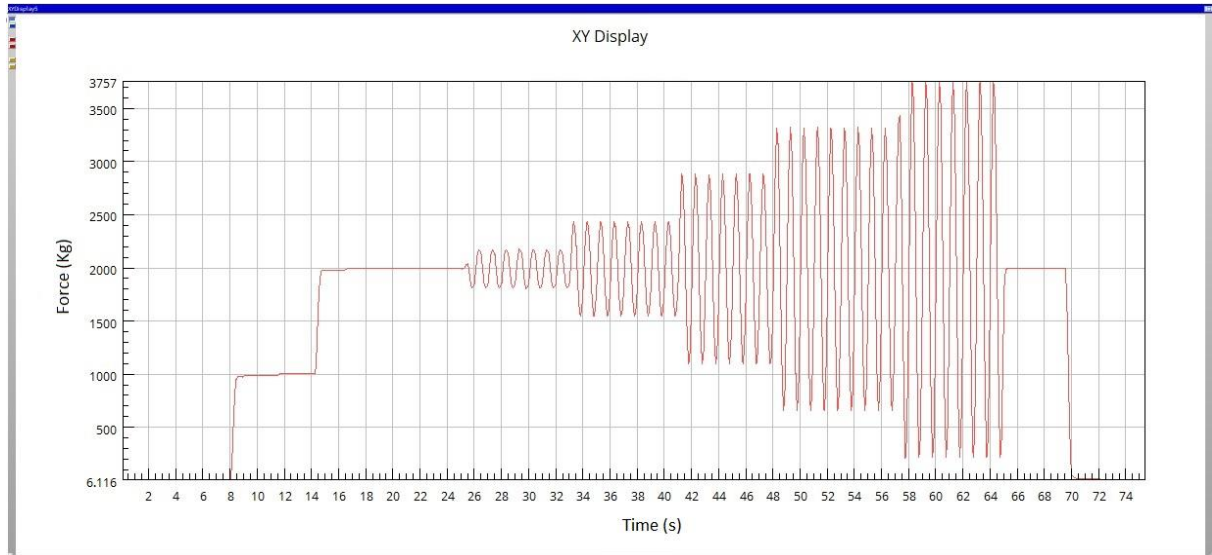


Figure 14. Force-time graph.

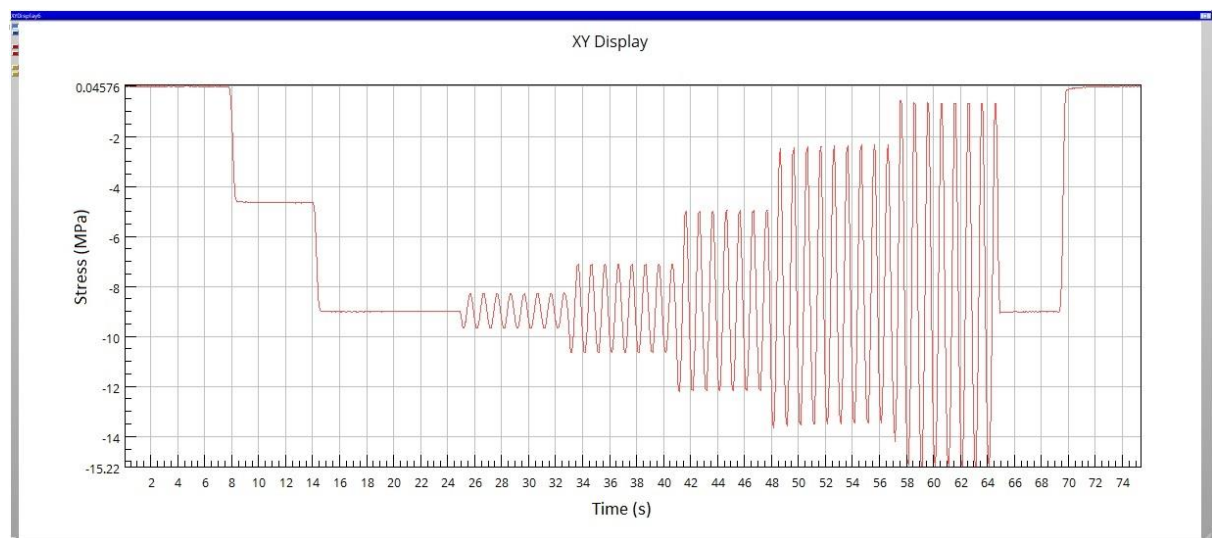


Figure 15. Stress-time graph.

In this study, stress measurement was successfully performed with a wheatstone bridge configuration created with linear gages [23]. Linear gauges have the ability to measure in a single axis. If they are not attached to the force axis on the object, an incorrect measurement is made. If the force axis on an object changes during the operation of the system, then the measurement is made with gages placed at specific angles. It can be preferred in a special rosette

where linear gages are brought together [7]. 0/45/90 degree rosette is seen in Fig. 16a. For the data acquisition system connection, 3 quarter bridge wheatstone bridges are required. This means using the three channels of the data acquisition system. Different size gages can be preferred depending on the application (Fig. 16b). Multi-axis measuring systems can also be created using existing gauges, as shown in Fig. 16c. Strain gage stress

measurement technology is an effective and efficient method to verify numerical and theoretical solutions and to

detect the real stresses directly on the systems during operation [24][25].

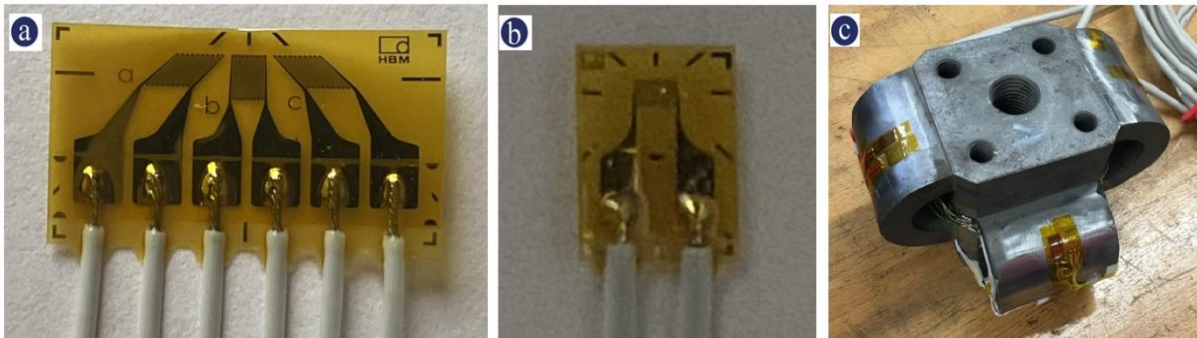


Figure 16. Strain gauge types and applications a) 0/45/90 rosette b) 1.5 mm grid linear gage c) 6 axis strain measurement application.

Conclusion

In this study, strain measurement with strain gauge was demonstrated in detail and successfully with an application analytical and numerical results were determined 1.20% and 1.40% differed with experimental measurement results, respectively. The full bridge circuit is the optimal configuration for strain gages. It provides the highest precision and measurement with the fewest error components and is less affected by electrical noise. Four active strain gauges, two of them rotated by 90°. The overall effect of the material on the basic strain measurement is compensated due to the poisson's ratio for the full bridge configuration. Normal strain is measured independently of bending strain (bending is excluded), Temperature effects are well compensated, High output signal and excellent common mode rejection.

The most important conclusions drawn from this study can be briefly presented for the use of strain gauge technology as follows:

- The type of material to be measured, its dimensions and the ambient temperature are important in the selection of strain gauges.
- The surface must be cleaned with chemicals and an electrostatic structure must be created.
- Measurements can be made in the elastic region of the material by strain gauges.
- Strain can be measured economically and efficiently with 0.05% sensitivity in a short time with the help of strain strain gauges.
- Universal data acquisition system (amplifier) can measure both strain gauges and other sensor data (0-10V, 4-20 mA) simultaneously.

- Quarter, half, full bridge configurations should be preferred according to measurement accuracy and application.
- Especially in measuring the strength of prototypes of mass-produced products with strain gauge measurements, it is highly beneficial for systems to be lighter and more durable.
- Continuous measurement can be performed with strain gauge data collection devices for the early detection of damage and accidents in the case of systems operating on ships, airplanes and bridges.
- Strain gauges provide low cost and high efficiency especially in prototype development studies, verification of computer aided finite element solutions, monitoring of the strength of constructions, optimization studies.

Conflict of interest

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

Acknowledgement

This work was supported by Sensor Tek Eng. and Measurement Systems Industry Ltd. Co. and Matil Material Testing and Innovation Laboratories Co.

References

- [1] K. Hoffmann, "An Introduction to Measurements using Strain Gages," *Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH*, p. 257, 1989.
- [2] G. İrsel, "Strength-based design of a fertilizer spreader chassis using computer aided engineering and experimental validation," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, 2021, doi: 10.1177/0954406221993847.
- [3] H. K. Çelik, N. Çağlayan, M. Topakci, A. E. W. Rennie, and I. Akinci, "Strength-based design analysis of a Para-Plow tillage tool," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 169,

- no. December 2019, p. 105168, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2019.105168.
- [4] T. J. Lisle, B. A. Shaw, and R. C. Frazer, "Internal spur gear root bending stress: A comparison of ISO 6336:1996, ISO 6336:2006, VDI 2737:2005, AGMA, ANSYS finite element analysis and strain gauge techniques," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 233, no. 5, pp. 1713–1720, 2019, doi: 10.1177/0954406218774364.
- [5] G. İrsel, "Effects of modification on the strength–weight ratio of standard bevel gears," *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, 2021, doi: 10.1080/15397734.2021.1960562.
- [6] H. Moustabchir, Z. Azari, S. Hariri, and I. Dmytrakh, "Experimental and numerical study of stress-strain state of pressurised cylindrical shells with external defects," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 17, no. 2, pp. 506–514, 2010, doi: 10.1016/j.engfailanal.2009.09.011.
- [7] H. Yurdem, A. Degirmencioglu, E. Cakir, and E. Gulsoylyu, "Measurement of strains induced on a three-bottom moldboard plough under load and comparisons with finite element simulations," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 136, pp. 594–602, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.01.011.
- [8] H. K. Celik, A. E. W. Rennie, and I. Akinci, "Design and structural optimisation of a tractor mounted telescopic boom crane," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 3, pp. 909–924, 2017, doi: 10.1007/s40430-016-0558-y.
- [9] H. Ma, J. Wang, G. Li, and J. Qiu, "Fatigue redesign of failed sub frame using stress measuring, FEA and British Standard 7608," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 97, no. January, pp. 103–114, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.032.
- [10] S. S. Patil, S. Karuppanan, I. Atanasovska, and A. A. Wahab, "Contact stress analysis of helical gear pairs, including frictional coefficients," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 85, pp. 205–211, 2014, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2014.05.013.
- [11] B. Gao, X. Chen, and G. Chen, "Ratchetting and ratchetting boundary study of pressurized straight low carbon steel pipe under reversed bending," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 83, no. 2, pp. 96–106, 2006, doi: 10.1016/j.ijpvp.2005.12.002.
- [12] T. J. Lisle, B. A. Shaw, and R. C. Frazer, "External spur gear root bending stress: A comparison of ISO 6336:2006, AGMA 2101-D04, ANSYS finite element analysis and strain gauge techniques," *Mech. Mach. Theory*, vol. 111, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.01.006.
- [13] R. A. B. Almeida, D. C. Vaz, A. P. V. Urgueira, and A. R. Janeiro Borges, "Using ring strain sensors to measure dynamic forces in wind-tunnel testing," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 185, pp. 44–52, 2012, doi: 10.1016/j.sna.2012.07.024.
- [14] Y. Lou, J. Wei, and S. Song, "Design and Optimization of a Joint Torque Sensor for Robot Collision Detection," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 16, pp. 6618–6627, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2912810.
- [15] K. Papadopoulos, "Technique for Measurement of," *Wind ENERGY*, vol. 3, no. May 1999, pp. 35–65, 2000.
- [16] M. Bruner, M. Catena, D. Cortis, G. Malavasi, S. Rossi, and M. Testa, "Estimation of the wheel-rail lateral contact force through the analysis of the rail web bending strains," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 99, pp. 23–35, 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2016.12.015.
- [17] D. Corminboeuf, "Calibration of bridge standard for strain gauge bridge amplifier," *17th Int. Congr. Metrol. CIM 2015*, vol. 4, pp. 2–6, 2015, doi: 10.1051/metrology/20150004004.
- [18] S. I. Gavrilencov, S. S. Gavriushin, and V. A. Godzikovsky, "Multicriteria approach to design of strain gauge force transducers," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1379, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1379/1/012010.
- [19] S. Bošnjak, Z. Petković, N. Zrnić, G. Simić, and A. Simonović, "Cracks, repair and reconstruction of bucket wheel excavator slewing platform," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 16, no. 5, pp. 1631–1642, 2009, doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.11.009.
- [20] H. K. Y. T. K. Sasaki, "Four-Point Bending Test of Determining Stress-Strain Curves Asymmetric between Tension and Compression," pp. 489–492, 2014, doi: 10.1007/s11340-013-9791-9.
- [21] A. M. Abou-Rayan, N. N. Khalil, and A. A. Zaky, "Experimental investigation on the flexural behavior of steel cold-formed I-beam with strengthened hollow tubular flanges," *Thin-Walled Struct.*, vol. 155, no. July, p. 106971, 2020, doi: 10.1016/j.tws.2020.106971.
- [22] J. Ye, I. Hajirasouliha, and J. Becque, "Experimental investigation of local-flexural interactive buckling of cold-formed steel channel columns," *Thin-Walled Struct.*, vol. 125, no. July 2017, pp. 245–258, 2018, doi: 10.1016/j.tws.2018.01.020.
- [23] L. D. V. Anand, D. Hepsiba, S. Palaniappan, B. Sumathy, P. Vijayakumar, and S. S. Rani, "Automatic strain sensing measurement on steel beam using strain gauge," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 2578–2580, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.274.
- [24] V. Goga, "Finite Element Model of the Strain Gauge for Determining 1 Introduction 2 Principle of the Strain Gauge Measurement," *Trans. VŠB – Tech. Univ. Ostrava, Mech. Ser. No.*, vol. LIX, no. 2, pp. 67–73, 2013.



Araştırma Makalesi / Research Article

Delik içi tornalamada kesici ucun ve delik işleme barasının delik işlemeye etkisi

Influence of insert and boring bar on boring in internal turning

Yunus KAYIR¹, Yasin ERKOÇAK^{2*}

¹ Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, ykayir@gazi.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6793-7103>

² Dicle Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, yasin.erkocak@dicle.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5808-3425>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 27 Ekim 2021
Revizyon 27 Aralık 2021
Kabul 27 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Delik işleme barası, delik içi tornalama, kesici uç, işlenebilirlik, yüzey pürüzlülüğü, titreşim

ÖZ

Delik içi tornalama işlemi önceden delinmiş veya döküm yoluyla elde edilmiş olan deliklerin belli ölçülere getirilmesiyle yapılan bir delik genişletme işlemidir. Delik işleme, delik toleransı dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü açısından son derece önemli ve hassas bir işlemdir. Delik içi tornalama esnasında istenilen yüzey kalitesine kesme parametrelerinin yanı sıra kullanılan kesici ucun ve kullanılan delik işleme barasının doğrudan etkisi vardır. Bu çalışmada; delik içi tornalama işlemine yönelik yapılmış olan çalışmalar derlenmiştir. Bulunan yayınlar, kullanılan delik işleme baralarının (malzemesi, boy/çap (L/D) oranı, sönümleme yöntemleri) ve kesici ucun (malzemesi, geometrisi yarıçap değeri, kaplaması) işlenen yüzeyin pürüzlülüğüne, delik geometrisine, takım aşınmasına ve kesme kuvvetlerine etkisi açısından tek tek ele alınmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, malzemesi çelik olan delik işleme barasının daha ekonomik olduğu, karbür delik işleme barasının daha büyük L/D oranına sahip deliklerin işlenmesinde daha iyi olduğu, kullanımı oldukça yeni olan titreşim sönümlemeli baraların ise kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını önemli derecede azalttığı ileri sürülmüştür. Bununla birlikte, kullanılan kesici uçlarda ise, küçük uç yarıçapına ve pozitif kesme açılara sahip olanların arzu edilen delik geometrisi ve toleransların elde edilmesinde daha uygun olduğu, serbest yüzey ve krater aşınmalarının meydana geldiği, kaplamalı uçlarla yüzey pürüzlülüğü ve aşınma üzerinde daha iyi sonuçlara ulaşıldığı ifade edilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 October 2021
Received in revised form 27
December 2021
Accepted 27 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

boring bar, internal turning,
cutting insert, machinability,
surface roughness, vibration

ABSTRACT

Internal turning is a hole enlargement process that is made by bringing pre-drilled or casting holes to certain dimensions. Boring is an extremely important and precise process in terms of hole tolerance, circularity and surface roughness. During internal turning besides cutting parameters, used cutting insert and used boring bar, has a direct effect on desired surface quality. In this study; The studies on internal turning process were collected. Obtained publications are discussed one by one, in terms of the effect of the boring bar (material, length-diameter (L/D) ratio, damping methods) and the insert (material, geometry, radius, coating) on the roughness of the machined surface, hole geometry, tool wear and cutting forces. As a result of the examinations, it was concluded that, the steel material boring bar is more economical, the carbide boring bar is better for machining holes with a larger L/D ratio, the vibration dampened bars, which are relatively new to use, being suggested that significantly reduce the cutting force, surface roughness and tool wear. Nevertheless, in the used inserts, it has been stated that those with small insert radius and positive cutting angles are more suitable for obtaining the desired hole geometry and tolerances, free surface and crater wear occurs, and better results are achieved on surface roughness and wear with coated inserts.

Doi:10.24012/dumf.1051439

* Sorumlu yazar

Giriş

Delik içi tornalama işlemi, önceden delinmiş veya döküm yoluyla elde edilmiş deliklerin, istenilen ölçüye getirilmesiyle yapılan bir delik genişletme işlemidir. Delik işleme barası genellikle bir ucu sabit diğer ucu ise kesme kuvvetlerine maruz kalan bir çubuktur (Şekil 1). İşleme sırasında delik işleme barası farklı yönlerde titreşimlere maruz kalır. Bu titreşimler, önemli bir kalite parametresi olan yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkiler. Yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmek için delik işleme barası titreşimlerini kontrol etmek önemlidir. Titreşimler, kullanılan kesme parametrelerinin bir sonucudur [1]. Kesme parametreleri dışında delik işleme barasının boy/çap (L/D)

oranı da titreşime neden olur. [2]. Daha büyük delik barası; uzunluğu nedeniyle delik işlemede, takım titreşimi, zayıf yüzey kalitesi, gürültü oluşumu, hızlı takım aşınması ve takım tezgâhının ömrünün kısalması ile sonuçlanan önemli bir faktör olarak kabul edilir [3]. Delik işleme barası ince ve uzun olduğunda, deliğin doğruluğunu ve yüzey kalitesini azaltan aşırı statik sapmalara veya kendiliğinden uyarılan tırlama titreşimine maruz kalır. Bu durum, kesici ucun daha hızlı aşınmasına neden olur [4]. Delik içi tornalamada yüzey pürüzlülüğünü, takım aşınmasını kesme kuvvetlerini titreşimleri azaltmak, istenilen geometriyi elde etmek amacıyla en uygun kesme parametreleriyle en uygun işlenebilirliğin belirlenmesine yönelik farklı delik işleme

barası malzemeleri ve kesici uçlar kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı görülmüştür.



Şekil 1. Delik içi tormalama işlemi (delik barası/kateri)

Genel itibari ile yapılmış olan çalışmalarda, L/D oranının yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik üzerinde etkili olduğu ileri sürülmüştür. Çelik baranın kullanımı, küçük delik boyları ($L/D < 4$) için uygun olurken, büyük delik boylarında ($L/D > 4$) karbür baranın kullanımının daha uygun olabileceği, ayrıca karbür baranın çelik baraya göre titreşimi azalttığı ifade edilmiştir [5,6]. Kesici ucun da, titreşim üzerinde etkili olduğu; [7,8], titreşim sönümlenmeli (AVB: Anti Vibration Bar) delik baralarının titreşimi önemli derecede azaltarak delik içi yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği, karbür baralara göre daha uzun takım ömrüne sahip olduğu, dolayısı ile de daha az maliyetli olabileceği belirtilmiştir [15]-[17]. Bununla birlikte incelenen çalışmalarda, farklı çaplara, malzemelere ve özelliklere sahip delik işleme baraları ile farklı geometrilere, uç yarıçaplarına ve malzemelerine sahip kesici uçların da kullanıldığı görülmüştür. Bu makalede, deliklerin tormalanarak işlenmesine yönelik son 20 yıla ait yapılmış olan çalışmalar bir araya toplanmıştır. Ulaşılan tüm makaleler, kullanılan delik barası, kesici uç, işlenen malzeme, kesme parametreleri, gibi faktörler, açısından tek tek ele alınmıştır. Sonuç olarak belirlenen bu faktörlerin işlenen deliklerin yüzey pürüzlülüğü, geometrisi ve toleransları açısından etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Materyal ve metot

Delik içi tormalama çalışmalarında kullanılan malzemeler, delik işleme baraları, kesici uçlar, L/D oranları (delik işleme barası bo/çap oranları) ve yöntemler başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

Kullanılan Malzemeler

Delik içi tormalama çalışmalarında, başta çelik malzemeler olmak üzere alüminyum, dökme demir ve toz metalurjisi yöntemi ile üretilen alaşım malzeme kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Delik içi tormalamada kullanılan malzemeler

Çelikler	AISI (316,1018,1026, 1030, 1040, 1041,1050,4340,5200) EN32,C45
Sert malzemeler	AISI 4340, AISI52100
Alüminyum	AA5754, Al7075
Dökme demir	----
Alaşım	M657BA12T

Badadhe ve arkadaşları AISI 1041 malzemeyi 16-20-25 mm çaplarında çelik delik işleme baraları ile 1.2 mm uç yarıçapına sahip karbür kesici uçlarla delik içi tormalayarak yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Araştırmacılar yüzey

pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğunu belirtmişlerdir [1]. Suyama ve arkadaşları 53.6 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğini delik içi tormalamada 20 mm çapında çelik ve karbür delik işleme baraları ve 0.8 mm yarıçapında CBN kesici uçlar kullanarak, takım aşınması yüzey pürüzlülüğü ve titreşimi incelemişlerdir. Kesme işleminin kararlı olduğu durumlarda (küçük L/D oranlarında) yüzey pürüzlülüğünün kesici ucun geometrisinden ve kesme parametrelerinden etkilendiğini, L/D oranının büyük olduğu durumlarda ise çelik baranın talaş kaldırmada kararsız hale geldiğini, karbür baranın daha büyük L/D oranı ile kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir [5].

Kullanılan Delik İşleme Baraları

İncelenen delik işleme çalışmalarında yaygın olarak çelik ve karbür baralar (Şekil 2.a, 2.b) kullanılmıştır. Özellikle son yıllara ait yayınlarda ise özel tasarlanmış çeşitli titreşim sönümlenmeli (AVB) baraların da (Şekil 2.c) kullanıldığı görülmektedir. Yapılmış olan deneysel çalışmalarda, işlenecek deliğin çapına ve boyuna göre, farklı boy ve çaplarda üretilmiş olan özel baraların da kullanıldığı görülmektedir (Tablo 2).



Şekil 2. Delik içi Tormalamada Kullanılan Takım Tutucular

Tablo 2. Delik içi Tormalamada Kullanılan Delik İşleme Barası Malzemeleri ve Çapları

Delik İşleme Barası Malzemesi	Takım Tutucu Çapı (mm)
Çelik delik işleme barası	10-12-16-18-25
Karbür delik işleme barası	10-20-25
Titreşim Sönümlenmeli delik işleme barası (AVB)	25-32







Farklı malzemeler kullanılarak farklı özelliklerle imal edilmiş delik baralarının delik işleme üzerindeki etkilerinin de farklı olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada, 25 mm çapında çelik, karbür ve titreşim sönümlenmeli delik işleme baraları ile AISI 1040 malzeme işlenerek delik içi tormalamada kesme parametrelerinin dairesellikten sapmaya etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ilerleme hızının, %23.92, kesme derinliğinin %21.21 ve bara bağlama boyunun ise % 21.15 oranlarında dairesellikten sapmaya etkisi olduğu ifade edilmiştir [6].

Kullanılan Kesici Uçlar

İncelenen çalışmalarda yapılan delik içi tormalama deneylerinde genellikle kesici uç olarak; farklı geometrilere (üçgen, kare, vb), farklı açılara (pozitif-negatif) ve farklı uç yarıçaplarına sahip, kaplamalı/kaplamasız kesici uçlar (insert) kullanılmıştır (Tablo 3). Örneğin, bir delik içi tormalamada AISI 1018 malzeme üzerinde VBGT kodlu TiAl kaplı 0.2 mm ve 0.4 mm uç yarıçap değerlerine sahip

karbür uçlar kullanılmış, yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Küçük uç yarıçaplı kesici uç ve yüksek pozitif kesme açısı, minimum yüzey pürüzlülüğü vermiştir [7]. Diğer bir çalışmada ise, SCMT kodlu ve 0.4 ve 0.8 mm uç yarıçaplarına sahip kaplamalı karbür kesici uçlarla ıslak ve kuru şartlarda delik içi tornama deneyleri yapılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Düşük ilerleme hızı ile büyük uç yarıçaplı kesici uç kullanıldığında, ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğünde %80'e varan iyileşmeler elde edilmiştir [8].

Tablo 3. Delik içi Tornalamada Kullanılan Kesici Uçların Özellikleri

Geometri	Kod	Açı	Uç Yarıçapı	Kaplama	Malzeme
	TNMG	Negatif	0.8	---	---
	TCMT	Pozitif	0.4	---	Karbür
	CCGW	Pozitif	0.8	TiCN+Al ₂ O ₃	CBN
	CNMG	Negatif	0.8	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Karbür
	CCMT	Pozitif	0.2-0.4-0.8	TiN	Karbür
	DCGW	Pozitif	0.4	TiN	CBN
	DCGT	Pozitif	0.2-0.4 0.6-0.8	---	Karbür
	DCMT	Pozitif	0.2-0.4 0.6-0.8	---	Karbür
	DNMG	Negatif	0.4-0.8	Kaplamalı	Karbür
	VBGT	Pozitif	0.2-0.4	TiAlN	Karbür
	SCMT	Pozitif	0.4-0.8	TiN, Al ₂ O ₃	Karbür
	W	----	0.4	----	----

Kullanılan Kesme Parametreleri

Delik içi tornalama çalışmalarında kesme parametreleri olarak; kesme hızı (V: m/dak) veya devir sayısı (S: dev/dak), ilerleme (f: mm/dev), kesme derinliği (Ap: mm), delik barası boy/çap (L/D) oranı veya bağlama boyu (mm), titreşim sönümlenme malzemeleri (çelik, bakır, kurşun, vb) gibi birçok parametrenin kullanıldığı görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Kesme parametreleri değer aralıkları

Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm)	Kesme derinliği, Ap (mm)	L/D oranı
50-360	0.01-0.75	0.25-2	3-9

Bir çalışmada, 25 mm çapında çelik malzemeden imal edilmiş bir delik barası ve 0.4 mm uç yarıçapında TiN kaplı DCMT kodlu CBN kesici uç kullanılarak AISI52100 malzemesi işlenmiştir. Yapılan delik içi tornalama sonrası elde edilen delik için çap hatası, dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Çalışmada %62.84 ile yüzey pürüzlülüğü açısından en önemli faktörün ilerleme olduğu saptanmıştır [9].

Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

Genelde, incelenen delik içi tornalama çalışmalarında elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Taguchi, Varyans Analizi (ANOVA), Gri İlişkisel Analiz (GRA), yapay sinir ağları (YSA), yüzey cevap metodu (RSM) gibi optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Taguchi Yöntemi

Bilindiği gibi, Taguchi metodu, dikkate alınmayan kontrol edilemeyen faktörlerin neden olduğu varyasyonları kontrol etmeyi sağlar. Taguchi, bu faktörlere karşı kontrol faktörlerinin seviyelerinin performansını ölçmek için objektif değerleri sinyal-gürültü (S/N) oranına dönüştürür. S/N oranı, istenmeyen rastgele gürültü değeri için istenen sinyal oranı olarak tanımlanır ve deney verilerinin kalite özelliklerini gösterir. S/N oranı olarak tanımlanan üç farklı işlev vardır: Daha büyük-Daha iyi (Larger is better), Daha küçük-Daha iyi (Smaller is better), Nominal-Daha iyi (Nominal is better). Taguchi metodunun kullanıldığı bir çalışmada, AA5754 alüminyum alaşımının ıslak şartlarda delik büyültme işleminde, kesme parametrelerinin (V, f ve Ap), yüzey kalitesi etkisi incelenmiştir. Deneyler Taguchi L9 ortogonal tasarım düzenine göre gerçekleştirilmiştir (Tablo 5). Çok yanıtlı Taguchi yaklaşımı kullanılarak, minimum yüzey pürüzlülük değerlerinin 120 m/dak kesme hızı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 0.75 mm kesme derinliği koşullarında gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır [10].

Tablo 5. Taguchi L9 deney tasarımı [10]

DeneyNo	A	B	C	Ra	Rz	Rq
1	1	1	1	2.30	9.73	2.74
2	1	2	2	3.42	16.47	4.46
3	1	3	3	4.31	17.84	5.47
4	2	1	2	1.43	5.96	1.67
5	2	2	3	2.78	13.09	3.50
6	2	3	1	3.01	11.70	3.98
7	3	1	3	1.61	5.22	1.30
8	3	2	1	2.50	11.08	3.01
9	3	3	2	3.20	13.75	4.10

Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA, elde edilen veriler ile kullanılan parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemeyi sağlayan bir istatistiksel yöntemdir. Yapılan deneysel çalışmalarda araştırmacılar, deney parametrelerin elde edilen deney sonuçları üzerindeki % etki oranlarını belirlemek için, varyans analizi (ANOVA) yöntemini tercih etmişlerdir. ANOVA kullanılarak yapılan bir çalışmada, AISI 1040 malzemesi 0.4 mm ve 0.8 mm uç yarıçaplarına sahip kesici uçlarla delik içi tornalanmış, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve kaldırılan talaş hacmi değerlendirilmiştir. Kesici uç yarıçapının %45.81 oranla titreşimi etkileyen en önemli parametre olduğu, ilerleme hızının ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde %55.57 oranla ve kaldırılan talaş hacmi üzerinde ise %51.26 oranla en önemli kesme parametresi olduğu tespit edilmiştir [11].

Gri İlişkisel Analiz Yöntemi (GRA, Grey Relational Analysis)

Bilindiği gibi Gri İlişki Analizi (GRA) elde edilmiş olan verilerin içinden en uygun olanın belirlenmesine yönelik kullanılan bir istatistiksel metottur. Bu yöntemde, elde edilen veriler (dizi) ile kullanılan parametreler arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılır. Bunun için de ilk olarak deneysel

veriler normalleştirilir. Gri ilişkisel analizde "büyük daha iyidir", "küçük daha iyidir" ve "nominal daha iyidir" modelleri kullanılarak optimum sonuç elde edilir. GRA yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, bakır sönümleyicili bir delik barası ile delik içi tormalama deneyleri yapılmıştır. Taguchi yöntemine göre deneylerin yapıldığı çalışmada; GRA yöntemi kullanarak ölçülen kesme kuvvetleri ve takım aşınması için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Daha Küçük Daha İyidir (Smaller is better) modeline göre yapılan analizde, en iyi kesme kuvveti 342.47N olarak ve en iyi takım aşınması da 0.24 mm olarak elde edilmiştir [12].

Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemi

YSA, insan beyninin sinir ağlarını taklit ederek geliştirilen bir bilgisayar yazılımıdır. YSA yönteminde, elde edilen mevcut verileri (kullanılan parametreler ile elde edilen sonuçlar) kullanarak öğrenen bir sistemin yeni verileri tahmin etmesi sağlanmaktadır. İncelenen delik işleme çalışmalarında elde edilen deney sonuçları için YSA yönteminin de kullanıldığı görülmüştür. Yapılan bir çalışmada, AISI 316 çeliği delik içi tormalanarak takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim incelenmiştir. Deneylerde, DNMG 0.4 mm ve 0.8 mm uç yarıçapında karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Belirlenen YSA modelinin, eğitimi için elde edilen deney sonuçlarından 54 tanesi kullanılmış, 15 tanesi doğrulanması için kullanılmış ve 8 adet deney ile de test edilmiştir. YSA'nın, takım titreşimini, takım aşınmasını yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için uygun kesme parametrelerinin seçiminde yardımcı olabildiği belirtilmiştir [13].

Yüzey Yanıt Yöntemi (RSM-Response Surface Methodology)

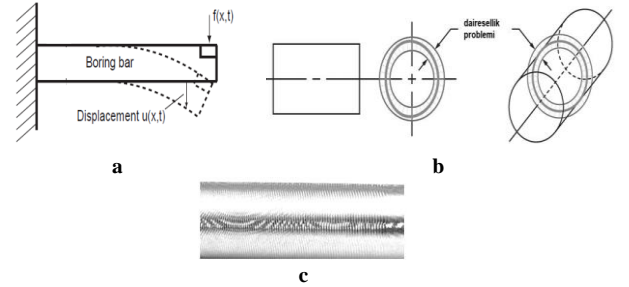
Elde edilmiş olan verilerin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Yüzey yanıt yöntemi olarak bilinir). RSM yönteminde, istatistiksel ve matematiksel teknikler birlikte kullanılır. RSM, bir optimizasyon (en iyi duruma getirme) tekniğidir. İncelenen delik işleme çalışmalarında, deneysel verilerin değerlendirilmesinde RSM yönteminin de tercih edildiği görülmüştür. Örneğin, deneysel bir çalışmada, RSM ile titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada, 16 mm çapında çelik bara ile 0.8 mm uç yarıçapında CCMT kodlu karbür uçlar kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve titreşimler incelenmiştir. RSM yöntemi ile tahmin edilen optimum (en uygun) titreşim ve yüzey pürüzlülüğü için doğrulama deneyleri yapılmış ve yüzdelik hata oranları hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için yüzde hata aralığı sırasıyla % -3 ila %3 ve % -6 ila %7 olduğu belirlenmiştir [14].

Araştırma ve bulgular

Delik içi tormalama ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması, dairesellik, delik barasının boy çap oranı (L/D oranı) gibi kriterlerin önemli faktörler olduğu görülmüştür.

Titreşim ve Boyutsal Doğruluk (Çaptan sapma, Dairesellik)

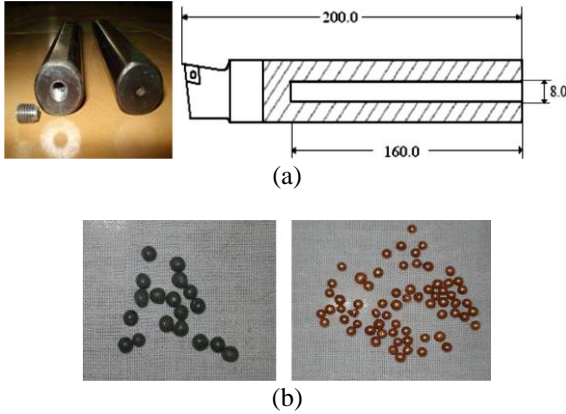
Delik içi tormalama işlemlerinde, kullanılan delik barasının çapı küçük ve boyu uzun olduğunda, delik geometrisinin bozulduğunu yüzey kalitesinin kötüleştiğini ve titreşime (tırlama) maruz kalınacağını yapılan çalışmalar göstermektedir (Şekil 3). Dolayısı ile işlenen delik için arzu edilen kalitenin (geometri, tolerans, pürüzlülük, vb) elde edilebilmesi için titreşimin azaltılması (sönümlenme) gerekmektedir. Genel olarak, titreşim sönümlenme yöntemleri aktif ve pasif sönümlenme olarak iki kategoriye ayrılmıştır. Aktif sönümlenme için, işlenebilirlik sırasında gerçek zamanlı işlem verileri elde edilir ve piezoelektrik aktüatörlerle (eyleyici) sinyallerin üretilmesi için analizler yapılır. Pasif sönümlenme için ise, titreşim emiciler, titreşim damperleri, ayarlı damperler ve parçacık sönümlenme işlemleri kullanılabilir. Bunun yanında, delik içi tormalama yapılırken titreşimi (tırlamayı) azaltmak ve boyutsal doğruluğu (dairesellik) sağlamak için kullanılan kesme parametrelerinin de optimizasyonunun önemli olduğu görülmüştür.



Şekil 3. a) Delik kateri deplasmanı b) Dairesellik problemi c) Titreşimli iş parçası yüzeyi

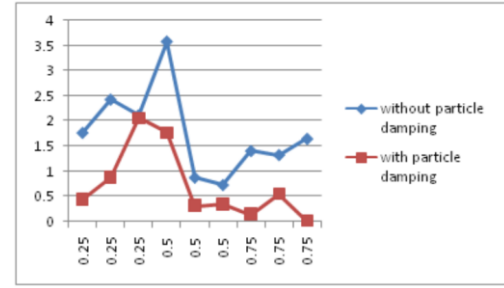
25 mm çapında nanokompozit kaplamalı ve kaplamasız çelik bara kullanılarak (L/D=5) yapılan bir çalışmada, mekaniksel titreşimler incelenmiştir. Kaplanmış bara, işleme sırasında ölçülen mutlak ses seviyesini yaklaşık % 90 oranında azaltmış, yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık 3-6 μ m'dan 2 μ m'a kadar düşürmüştür. [15]. Farklı viskoelastik sönümlenme malzemelerinin (PTFE, PVC, Butyl Rubber) kullanıldığı delik barası ile yapılan bir başka çalışmada ise, sönümlenme malzemesinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri araştırılmıştır. 20 mm çapında çelik bara ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün PTFE malzeme ile yaklaşık %25-30 oranında azaldığı belirtilmiştir [16]. 20 mm çapında çelik, karbür ve sönümlenmeli bara kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada ise, karbür baranın çelik baranın yetersiz kaldığı durumlarda kullanılabileceği önerilmiştir. Parçacık sönümleyicilerin çelik baraların, titreşimini azalttığı ve daha büyük L/D oranlarında kullanılmasını sağladığı görülmüştür. Dolayısı ile bu durum, sönümlü çelik baraların, karbür baralara göre basit ve ucuz bir alternatif olabileceğini göstermiştir. [17]. Delik baralarının sönümlendirildiği bir çalışmada, 25 mm çapında çelik bara 8 mm çapında delinerek içerisine farklı boyutlarda sönümlenme parçacıkları (FeC, Cu, Pb, CuZn, Ag, Cr) yerleştirilmiş ve delik içi tormalamada parçacık boyutu, yoğunluk ve sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Şekil 4). Parçacık boyutu ne kadar küçük olursa, sönümün o kadar yüksek olacağı, daha yüksek yoğunluğa sahip malzemeler tercih edilmesi gerektiği, sert

parçacıkların iyi bir sönümleme sağladığı ve yüzey kalitesini iyileştirdiği belirtilmiştir. Çelik bilyeler, diğer parçacıklara kıyasla daha iyi yüzey kalitesi vermiştir [18].

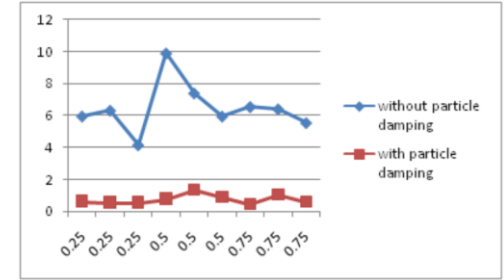


Şekil 4. a) Titreşim Sönümlenmeli delik işleme barası
b) Kurşun ve bakır partiküller [18]

Bir çalışmada ise, 20 mm çapında çelik bara üzerine sönümleme için yapıştırılan karbon fiber malzemesinin titreşimi azalttığı belirtilmiştir. Sönümleme kullanılmayan normal bir baranın frekansı, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve takım uzunluğu arttıkça artmış ve frekans 2225.32 Hz olarak elde edilmiştir. Karbon fiber malzeme ile sönümlendirilmiş bir baranın oluşturduğu frekans ise 1586.21 Hz'e düşmüştür [4]. 16 mm çapında çelik bara üzerinde çeşitli sönümleme malzemeleri (PU, PVC, Teflon) kullanılarak yapılan çalışmada, Teflon sönümleme ile yüzey pürüzlülük değerinin % 33'e kadar, frekans değerinin % 13'e kadar düştüğü tespit edilmiştir [19]. 20 mm çapında çelik bara ve 0.8 mm yarıçapında kaplamalı CBN kesici uç ile AISI 4340 çeliğini delik içi tornalayarak, hava destekli ve hava desteksiz çelik ve kurşun partiküllerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada, kesme parametreleri, partikül sıkıştırma oranı, partikül malzemesi, partikül boyutu değerlendirilmiştir. Çalışmada, delik barası, 70 ve 120 mm boyutlarda kullanılmıştır. Hava akışlı partikül sönümleyici, 120 mm boydaki bara için, yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık %60 oranında azaltmıştır. Hava akışının, delik barasının kullanılan boyuna bağlı olduğu, kurşunla doldurulmuş baranın yüzey pürüzlülüğünü azaltmada daha etkili olduğu ifade edilmiştir [20]. Yapılan bir delik işlemede tırlamayı (kesici ucun yer değiştirmesi) bastırmak için 12 mm çapındaki bir çelik bara, bakır ve kurşun parçacıklarla sönümlenmiş ve alüminyum malzemelerin delik içi tornalanmasında kullanılmıştır (Şekil 5). Çalışmanın sonucunda, sönümlenmeli baranın tırlamaya karşı direncinin, normal baradan daha büyük olduğu, titreşimi yaklaşık % 61 oranında azalttığı ve yüzey kalitesini de % 88 oranında iyileştirdiği belirlenmiştir [21].



(a) titreşim – kesme derinliği grafiği



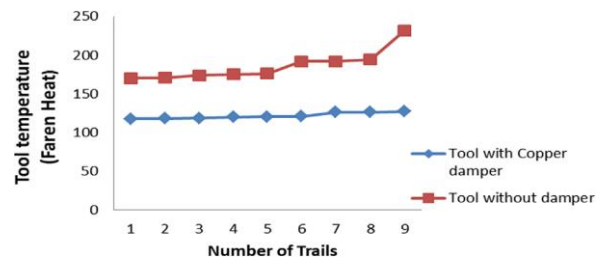
(b) yüzey pürüzlülüğü – kesme derinliği grafiği

Şekil 5. Sönümlenmeli (with particle damping) ve sönümlemesiz (without particle damping) delik işleme baralarıyla elde edilen titreşim ve yüzey pürüzlülüğü grafikleri [21]

Delik barası ile yapılan bazı çalışmalarda, delik içi konikliğinin (delik başlangıç çapı ile delik çıkış çapı arasındaki ölçü farkı), ortaya çıkabileceğinden bahsedilmiştir. Delik içi konikliğin giderilmesinde ise, ilerleme değerlerinin artırılmasının yanı sıra L/D oranının düşürülmesinin etkili olduğu, kendinden sönümleme özelliğine sahip karbür baraların, delik işleme için en iyi seçim olacağı belirtilmiştir [22].

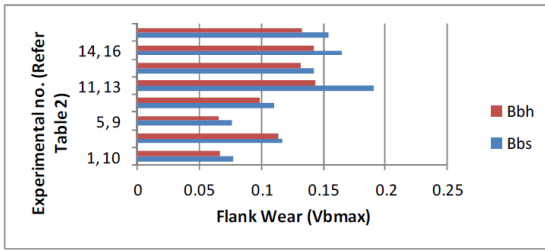
Takım aşınması ve takım ömrü

Delik içi tornalamada takım aşınması ve takım ömrü ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Titreşim sönümlenmeli (tool with copper damper – bakır sönümleyicili takım) ve titreşim sönümlemesiz (tool without damper- sönümleyicisiz takım) delik baralarının takım sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin deneysel olarak değerlendirildiği bir çalışmada (Şekil 6), (number of trails: deney numarası, tool temperature: takım sıcaklığı) titreşim sönümleyicilerin, delik barasının kararlılığını artırdığı belirtilmiştir. Delik barasının sönümleme kabiliyeti ve sertliği arttığında takım aşınmasının azaldığı, takım ömrünün uzadığı belirtilmiştir. Sönümlenmeli bara sıcaklığı (117.6 F), normal baradan daha düşüktür. Sönümlenmeli bara ile daha az ses ve daha uzun takım ömrü elde edilmiştir [23].



Şekil 6. Sönümlü ve sönümsüz delik işleme baralarının deney numarası kesici uç sıcaklığı grafiği [23]

Bir çalışmada, 20 mm çapında çelik ve karbür bara ve CCGW geometriye sahip 0.8 mm yarıçapında CBN kesici uçlarla delik içi tornalamada titreşim ve takım aşınması incelenmiştir. Delik barası malzemesi takım ömrünü etkilemiştir. Titreşim yüksek olduğunda, difüzyon etkili aşınma mekanizması iken titreşim en düşük seviyede etkin titreşim mekanizmasının abrasiv aşınma olduğu görülmüştür. Karbür baranın çelik baraya göre daha uzun ömürlü olduğu, çelik baranın maruz kaldığı titreşimin karbür baraya göre biraz daha yüksek olduğu ve bunun da takım ömrü üzerinde küçük bir etkiye neden olduğu belirtilmiştir [24]. 32 mm çapında çelik bara ve 0.8 mm yarıçapa sahip DCMT kaplamasız karbür uçlarla yapılan bir çalışmada, EN32 sertleştirilmiş çelik malzeme delik içi tornalanarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Kaplamasız karbür kesici uçlarda serbest yüzey aşınması meydana gelmiştir. Çelik bara için kullanılan parçacık sönümlemenin (Bbh=çelik bilyelerle dolu içi boş delik işleme barası, Bbs=normal sönümsüz bara), takım gürültüsünü önemli ölçüde azalttığı, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede ve takım aşınmasını azaltmada iyi bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Şekil 7) [25].

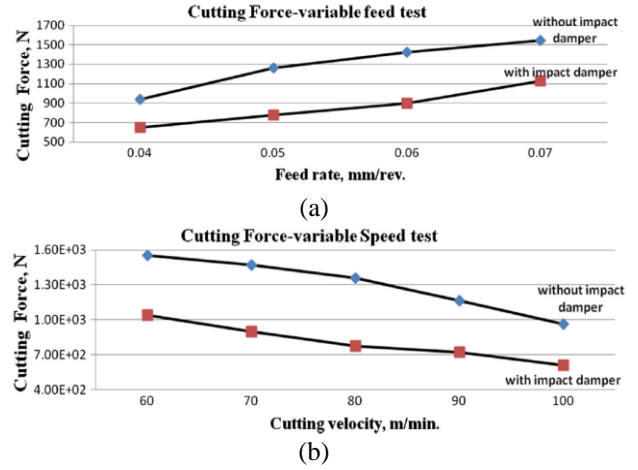


Şekil 7. Deneysel numarası serbest yüzey aşınması grafiği [25]

Toz metalurjisi ile elde edilen Fe-C-Cu-Ni-Mo alaşım malzemenin, PCBN kesici uçlarla işlenerek yüzey pürüzlülüğünün incelendiği bir çalışmada, kesme hızının takım aşınmasında en büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Kesme hızı arttıkça aşınma tiplerinin, serbest yüzey aşınması ve krater aşınması olarak ortaya çıktığı, düşük kesme hızında aşındırıcı ve orta kesme hızında da difüzyon gibi aşınma mekanizmalarının görüldüğü ifade edilmiştir. Aşınmanın artmasıyla da, yüzey pürüzlülüğünün arttığı vurgulanmıştır [26].

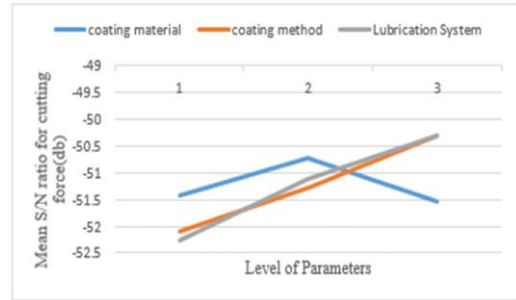
Kesme kuvvetleri

Delik içi tornalamada, delik barası, kesici uç ve kesme parametreleri seçimine göre kesme kuvvetleri farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, delik baralarında kullanılan sönümleyicilerin de kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Örneğin yapılan bir çalışmada, çelik bara üzerine monte edilen sönümleyicinin (with impact damper) titreşimi bastırarak delik barasına doğal bir sönümleme yeteneği kazandırdığı, elde edilen deneysel sonuçlardan, titreşim sönümlemeli delik barasının kesme kuvvetlerini etkili bir şekilde azalttığı (Cutting force – variable feed test, kesme kuvvetleri – farklı ilerleme deneylerinde, Cutting force – variable speed test, kesme kuvvetleri – farklı kesme hızı deneylerinde) görülmüştür (Şekil 8) [3].



Şekil 8. a) kesme kuvveti – ilerleme grafiği
b) kesme kuvveti – kesme hızı grafiği [3]

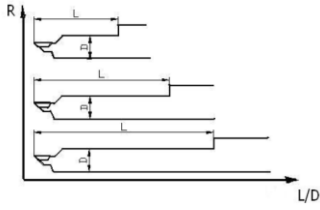
Kesme kuvvetlerinin değerlendirildiği bir başka çalışmada, 0.8 mm uç yarıçapında CNMG geometriye sahip kesici uçlar $Al_2O_3 + ZrO_2$ ve ZrO_2 kaplama malzemeleriyle (coating material) daldırma, döndürme ve püskürtme gibi çeşitli kaplama yöntemleriyle (coating method) kaplanarak çeşitli işleme koşullarında (lubrication system, yağlama koşulları kuru, gres yağı ve ıslak) delik içi tornalanarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Çalışmada, daha iyi işleme performansı elde etmek için, kesici ucun, termal spray kaplama tekniği ile çok katmanlı $TiO_2 + ZrO_2$ olarak kaplanması gerektiği, ve soğutma sıvısının kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. (Şekil 9) [27].



Şekil 9. Kesme kuvvetleri için S:N grafiği [27]

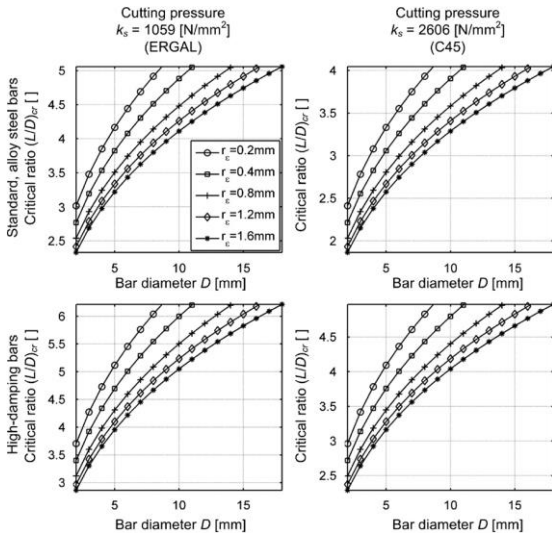
Delik Barası Boy-Çap Oranı (L/D oranı) ve Taşma Oranı

Delik içi tornalamada delik barası seçimi yapılırken işlenecek delik çapı ve uzunluğu dikkate alınmalıdır. Delik barası uzunluğunun (L) minimize edilmesi rijitlik, yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyeti açısından önemlidir. Delik barası uzunluğunu delik derinliği belirlemektedir. Bara çapı arttıkça rijitlik artmaktadır ancak, talaş tahliyesi ve radyal hareketler açısından delik içerisindeki boşluğun da dikkate alınması gerektiğinden bara çapı açısından bazı sınırlamalar vardır. Rijitlik L/D oranı ile tanımlanmaktadır. L/D oranının artması rijitliği azaltacaktır (Şekil 10) ancak, işlenecek delik çapı ve delik boyuna göre bu oranın belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 10. L/D oranı ve rijitlik

Delik içi tornalamada L/D oranı için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bara malzemelerinin ve L/D oranının işleme kararlılığına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, bara malzemesi, kesici uç yarıçapı ve iş parçası malzemesine bağlı olarak işleme kararlılığı için kritik L/D oranına bağlı model geliştirilmiştir. Kritik oran (L/D_{cr}), işleme kararlılığını sağlayan maksimum en ve boy oranı olarak tanımlanmıştır. C45 ve ERGAL malzemeler üzerinde farklı kesici uç yarıçaplarının ($r_e = 0.2 - 0.4 - 0.8 - 1.2 - 1.6$) çelik (standart alloy steel bars) ve karbür (high damping bars) baralar için ayrı ayrı kritik L/D oranı (L/D_{cr}) ve bara çapı (bar diameter: D) incelenmiştir. Deneysel modele göre, bara çapı (D) sabit iken kesici uç yarıçapı 1.6 mm'den 0.2 mm'ye düştüğünde L/D kritik oranı (L/D) arttığı belirtilmiştir. (cutting pressure – malzeme kesme basıncı) Takım malzemesine göre ise kritik L/D oranının karbür takımda daha fazla arttığı ifade edilmiştir (Şekil 11) [28].

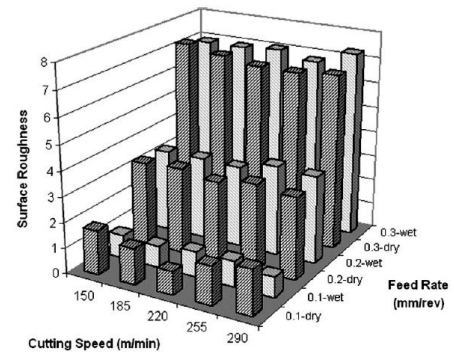


Şekil 11. ERGAL ve C45 malzemeler için delik barası malzemesine delik çapına ve kesici uç yarıçapına bağlı kritik L/D oranı [28]

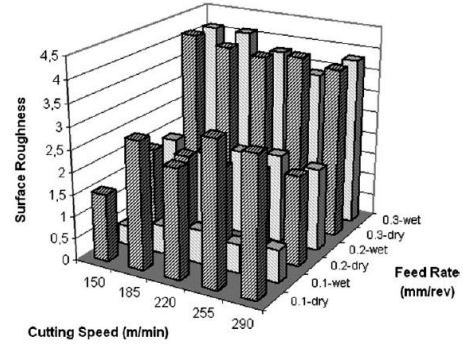
Delik içi tornalamada kararlılık analizi için yeni bir olasılık algoritmasının sunulduğu bir çalışmada ise, delik işleme barası boyu (L) ile bara çapı (D) arasındaki maksimum oran tahmin edilmiştir. Önerilen yaklaşım, deneysel olarak doğrulanmıştır. Deneyselde 10 ve 16 mm çaplarında çelik ve karbür delik işleme baraları C45 ve Al7075 malzemeler ve DCMT kodlu 0.2-0.4-0.6-0.8 mm yarıçaplarında kesici uçlar kullanılmıştır. Kararsızlık olasılığının %10'dan küçük olduğunda sistemin kararlı olarak kabul edildiği vurgulanmıştır [29].

Yüzey pürüzlülüğü

Delik işleme çalışmalarında, işlenen yüzeyin pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesine de çalışılmıştır. Örneğin, 16 mm çapında çelik delik işleme barası ve 0.2 mm ve 0.4 mm yarıçaplara sahip CCMT kodlu TiN kaplamalı karbür uçlar kullanılarak delik içi tornalamada, sönümleme pozisyonu, ilerleme, kesme derinliği ve kesici uç yarıçapı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin kesici uç yarıçapı olduğu belirtilmiştir. Kesici uç yarıçapı arttığında yüzey pürüzlülüğü artmaktadır [30]. AISI 1030 düşük karbon çeliğinin delik içi tornalanmasında kesme sıvısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin, kesme hızı, ilerleme hızı ve takım ucu yarıçapı gibi diğer kesme parametrelerine bağlı olarak incelendiği bir çalışmada, büyük uç yarıçapı ve düşük ilerleme oranı ile kullanılan kesme sıvısının, yüzey pürüzlülüğünü % 80'e kadar iyileştirdiği belirtilmiştir. (Şekil 12) [8].



(a)



(b)

Şekil 12. Yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) Uç radüsü 0,4 mm b) Uç radüsü 0,8 mm [8]

İncelenen bir başka çalışmada, 10 mm çapında ve 65 ve 95 mm boylarda çelik ve karbür delik baraları, 0.4 ve 0.8 mm yarıçapında kesici uçlar kullanılarak AISI 1026 malzeme işlenmiştir. Kullanılan tüm deney parametrelerinde kısa bara uzunluğunun daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiği belirtilmiştir. Her iki delik işleme barası için de daha küçük yarıçapa sahip kesici uç ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edildiği ifade edilmiştir [31]. Dökme demir malzeme üzerinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin Taguchi metodu (L27) ile belirlendiği bir çalışmada ise, deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin sırasıyla, kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı şeklinde olduğu belirtilmiştir [32].

Sonuç

Bu çalışmada, delik içi tornalamaya yönelik yapılmış çalışmalar ele alınmıştır. Ulaşılabilen tüm yayınlar tek tek incelenerek yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar bir araya toplanmaya çalışılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, elde edilen bulguların, delik barası ve kesici uç üzerinden tasnif edilmesinin daha uygun olacağı görülmüştür.

Delik Barası

Delik işleme operasyonlarında kullanılan delik barasının L/D oranının oldukça etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Daha küçük L/D oranlarına sahip çelik malzemeli delik baralarının oldukça yaygın kullanıldığı görülmüştür. Fakat artan L/D oranlarıyla çelik malzemeli delik işleme baralarının kararsız (titreşimin arttığı) hale geldiği görülmektedir. Karbür malzemeli delik işleme baralarının daha uzun L/D oranı ile sorunsuz olarak kullanılabilirdiği belirlenmiştir. Nanokompozit malzeme ile kaplanmış çelik baralarının, kaplamasız olanlarına göre delik işleme sırasında oluşan sesi yaklaşık %90 oranında azalttığı belirtilmiştir. Vizkoelastik malzemelerle takviye edilmiş (PTFE) olan delik barasının yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık %25-30 oranında azalttığı anlaşılmıştır. Parçacık sönmümlü delik işleme baraları, standart bir çelik malzemeli delik barasının sorunlu olduğu L/D oranlarına sahip deliklerin işlenmesinde karbür baraların yerine basit ve ucuz bir alternatif olabileceğini göstermiştir. Parçacık sönmümlenme parçacık boyutu ne kadar küçük olursa, sönmümlenmenin o kadar yüksek olduğu vurgulanmıştır. Yüksek yoğunluğa sahip malzemelerin ve sert parçacıkların daha iyi sönmümlenme sağladığı ve işlenen yüzeyin kalitesini iyileştirdiği anlaşılmıştır. Çelik bilyelerle yapılan sönmümlenme uygulamalarının, diğer sert parçacıklara kıyasla daha iyi yüzey kalitesi ortaya koyduğu ileri sürülmüştür. Karbon fiberli delik işleme baralarının delik işleme esnasında oluşturduğu titreşim frekansının normal bir delik barasına göre daha düşük olduğu açıklanmıştır. Teflon sönmümlenme malzemesi ile takviye edilmiş delik baralarının yüzey pürüzlülük değerini %33'e kadar düşürebildiği ortaya konmuştur. Alüminyum malzemelerin, pasif sönmümlenme yöntemi ile takviye edilmiş delik baraları ile işlenmesinde titreşim seviyesini yaklaşık % 61 azalttığını ve dolayısı ile de işlenen yüzey kalitesini %88 arttırdığını yapılan çalışmalar göstermiştir. Delik işlemede meydana gelen konikliğin L/D oranının düşürülmesiyle büyük ölçüde ortadan kaldırılabilirdiği belirtilmiştir. Delik baralarında titreşim sönmümlenme kabiliyetinin ve kararlılığın arttığı anlaşılmıştır. Delik işleme baralarının sönmümlenme kabiliyeti ve sertliği arttığında takım aşınmasının azaldığı görülmüştür. Sönmümlenmeli delik baraları ile yapılan delik işleme deneylerinde daha az ses ve daha uzun takım ömrü elde edildiği görülmüştür. Çelik delik barasının oluşturduğu titreşimin karbür delik barasına göre biraz daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Parçacık sönmümlenme tekniği ile üretilmiş delik baralarının gürültüyü önemli ölçüde azalttığı artan sönmümlenmenin de kesme kuvvetlerini etkili bir şekilde azalttığı ifade edilmiştir.

Kesici uç

Delik işleme operasyonlarında kullanılan kesici uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerinde yüksek etkiye sahip olduğunu yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir. Daha küçük kesici uç yarıçapı ve yüksek pozitif eğim açısı, minimum yüzey pürüzlülüğü vermiştir. Düşük ilerleme hızlarında büyük kesici uç yarıçapı, ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğünde %80'e varan iyileşmeler sağlanmıştır. Sert malzemelerin işlenmesinde CBN kesici uçlarla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kesici uç yarıçapı iş parçasının titreşim genliğini etkileyen önemli parametredir. Baskın aşınma tipleri serbest yüzey aşınması ve krater aşınmasıdır. Kaplamasız karbür kesici uçlarda serbest yüzey aşınması meydana gelmiştir. CBN uçlarda serbest yüzey ve krater aşınması etkindir. Aşınma mekanizmaları aşındırıcı ve difüzyondur. Sprey kaplama tekniği ile çok katmanlı (TiO₂ +ZrO₂) kaplanan kesici uçlar ıslak işleme ortamında daha yüksek kesme performansına sahiptir. Delik barası çapı sabit iken kesici uç yarıçapı azaldığında sorunsuz olarak kullanılabilen L/D oranının da arttığı görülmüştür. Kesici uç yarıçapı arttığında artan titreşim ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı belirtilmiştir.

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] Badadhe, A. M., Bhave, S. Y., and Navale, L. G. “Optimization of cutting parameters in boring operation” *In Second National Conference on Recent Developments in Mechanical Engineering*, pp. 10-15, 2005.
- [2] Patil, R. S., Jadhav, S. M., and Gajjal, S. Y., “Improvement of Surface roughness in Boring operation using Viscoelastic Material Damper”, 2016.
- [3] Lawrance, G., Paul, P. S., Varadarajan, A. S., Praveen, A. P., and Vasanth, X. A., “Attenuation of vibration in boring tool using spring controlled impact damper”, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(4), 903-915., 2017 DOI:10.1007/s12008-015-0292-1.
- [4] Wadhwanekar, D., More, K., and Bajaj, V. “Experimental Investigation of Boring Tool Vibration for Improving Surface Finish by using Passive Damper”, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6,162., 2016 DOI:10.1007/s00170-016-8964-y
- [5] Suyama, D. I., Diniz, A. E., and Pederiva, R. “Tool vibration in internal turning of hardened steel using cBN tool”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9-12), 2485-2495, 2017.
- [6] Korkut, I., and Kucuk, Y. “Experimental analysis of the deviation from circularity of bored hole based on the Taguchi

method”, *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 56(5), 340-346. 2010

[7] Munawar, M., Chen, J. C. S., and Mufti, N. A. “Investigation of cutting parameters effect for minimization of surface roughness in internal turning”, *International journal of precision engineering and manufacturing*, 12(1), pages 121-127, DOI: 10.1007/s12541-011-0015-x, 2011.

[8] Yildiz, Y., Gunay, M., and Seker, U. “The effect of the cutting fluid on surface roughness in boring of low carbon steel—technical communication”, *Machining Science and Technology*, 11(4), pages 553-560 DOI:10.1080/10910340701697052, 2007.

[9] Boy, M., Ciftci, I., Gunay, M., Ozhan, F., “Application of the Taguchi method to optimize the cutting conditions in hard turning of a ring bore”, *Materials in Technology*, 49 (5) pages 765–772, (2015). DOI:10.17222/mit. 2014.246

[10] Kahraman, F., Başar, G., Koçoğlu, Z., ve Yeniyl, E.”Delik Büyütme İşleminde Kesme Parametrelerinin Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Yaklaşımı Kullanılarak Optimizasyonu” *Politeknik Dergisi*. 2017.

[11] Rao, K. V., Murthy, B. S. N., and Rao, N. M. “Cutting tool condition monitoring by analyzing surface roughness, work piece vibration and volume of metal removed for AISI 1040 steel in boring”, *Measurement*, 46(10), pp 4075-4084,2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.07.021>

[12] Ramesh, K., Baranitharan, P., and Sakthivel, R. “Investigation of the stability on boring tool attached with double impact dampers using Taguchi based Grey analysis and cutting tool temperature investigation through FLUKE-Thermal imager”, *Measurement*, 131, pp 143-155, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.08.055>

[13] Rao, K. V., Murthy, B. S. N., and Rao, N. M. “Prediction of cutting tool wear, surface roughness and vibration of work piece in boring of AISI 316 steel with artificial neural network”, *Measurement*, 51, pp 63-70, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.01.024>

[14] Yuvaraju, B. A. G., & Nanda, B. K. “Prediction of vibration amplitude and surface roughness in boring operation by response surface methodology”, *Materials Today: Proceedings*, 5(2), pp 6906-6915, 2018.

[15] Fu, Q., Lundin, D., & Nicolescu, C. M. “Anti-vibration engineering in internal turning using a carbon nanocomposite damping coating produced by PECVD process”, *Journal of materials engineering and performance*, 23(2), pp 506-517, 2014. DOI:10.1007/s11665-013-0781-y.

[16] Patil, R. S., and Jadhav, S. M. “Boring parameters optimization for minimum surface roughness using CNC boring machine with passive damping material” In *Convergence in Technology (I2CT)*, 2nd International Conference for, pp. 300-303 April 2017, IEEE.

[17] Suyama, D. I., Diniz, A. E., and Pederiva, R. “The use of carbide and particle-damped bars to increase tool overhang in the internal turning of hardened steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5-8), pp 2083-2092, 2016. DOI:10.1007/s00170-015-8328-z

[18] Sathishkumar, B., Mohanasundaram, K. M., and Kumar, M. S. “Impact of Particle Damping Parameters on Surface Roughness of Bored Surface” *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(10), pp 7327-7334, 2014. DOI:10.1007/s13369-014-1209-1.

[19] Rayate, A. V., Patil, S. J., Pawar, S. S., Mundhe, N. P., and Jadhav, S. M. “Vibration Reduction and Surface Finish Improvement in Boring Operation on Lathe by Viscoelastic Material Damper”, 2017.

[20] de Aguiar, H. C. G., Hassui, A., Suyama, D. I., & Magri, A.”Reduction of internal turning surface roughness by using particle damping aided by airflow”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(1-2), pp 125-131 2020 <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04566-5>

[21] Sarode, M. K., Nehe, P., and Deshpande, M. S. “Chatter mitigation in boring machining process” *International journal*, 5(9), 2020.

[22] Kucuk, Y., and Korkut, I. “Using the Experimental Design Method to Optimize the Conicity and Circularity of Bored Holes”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(4), pp 1077-1082, 2012. DOI:10.1007/s13369-012-0215-4

[23] Baranitharan, P. “Investigation on the effects of damping over the temperature distribution on internal turning bar using Infrared fusion thermal imager analysis via Smart View software” *Measurement*, 107938, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107938>

[24] Suyama, D. I., and Diniz, A. E. “Influence of tool vibrations on tool wear mechanisms in internal turning of hardened steel” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(7), pp 1-17, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02452-w>

[25] Singh, G., Mann, G. S., and Pradhan, S. “Improving the Surface roughness and Flank wear of the boring process using particle damped boring bars” *Materials Today: Proceedings*, 5(14), pp 28186-28194, 2018.

[26] Rocha, C. A., Sales, W. F., de Barcellos, C. S., and Abrão, A. M, “Evaluation of the wear mechanisms and surface parameters when machining internal combustion engine valve seats using PCBN tools” *Journal of materials processing technology*, 145(3), pp 397-406, 2004.

[27] Lawrance, G., Daniel, E., Paul, P. S., Shaji, J., and Thankachan, T. “Study on the Influence of Multi-Layered Nano Metal Oxide Coating on Cutting Performance During Boring of Hardened Steel”, *Materials Today: Proceedings*, 22, pp 1731-1736, 2020.

[28] Sortino, M., Totis, G., and Prospero, F. "Development of a practical model for selection of stable tooling system configurations in internal turning" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 61, pp 58-70., 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.05.010>

[29] Totis, G., and Sortino, M. "Robust analysis of stability in internal turning" *Procedia Engineering*, 69, pp 1306-1315, 2014. DOI :10.1016/j.proeng.2014.03.123

[30] Nugroho, W., Baba, N. B., and Saptari, A "Optimization on Surface Roughness of Boring Process By Varying Damper Position" 2006.

[31] Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, Y. A., & Masounave, J. "Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design" *Computers & industrial engineering*, 31(3-4), pp 645-651, 1996.

[32] Rai, A. K., Yadav, S., Dubey, R., and Sachan, V. "Application of Taguchi Method in the Optimization of Boring Parameters" *International Journal of Advanced Research in Engineering & Technology (IJARET)*, 4(4), pp 191-199, 2013.



Faz değıştiren malzemeli duvarlarda sıcaklık dağılımının nümerik analizi

*Numerical analysis of temperature distribution in walls with phase change materials*Meral ÖZEL^{1*}, Fethi Ahmet ÇAKMAK², Nesrin İLGİN BEYAZIT³¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, ORCID: 0000-0002-9516-4715² Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa, ORCID: 0000-0003-4575-5055³ Mardin Artuklu Üniversitesi, Mardin Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Mardin, ORCID: 0000-0003-4708-9615

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 15 Ekim 2021
Revizyon 20 Kasım 2021
Kabul 25 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Faz değıştiren malzeme (FDM),
sıcaklık dağılımı, ANSYS, Kış
şartları

Bu çalışmada, bina dış duvarlarında geleneksel ısı yalıtım malzemesi yerine faz değıştiren malzeme (FDM) kullanılarak duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı ANSYS’de sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaç için Elazığ ilinin kış iklim şartları göz önünde bulundurularak güney ve kuzeye bakan bir duvar için beş farklı duvar modeli ele alınmıştır. Belirlen bu duvar modelleri için ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları hesaplanmış ve daha sonra ise ısı depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları tespit edilmiştir. Sonuç olarak özellikle FDM’nin kullanılmasıyla duvar içerisindeki sıcaklık dalgalanmalarının oldukça fazla sönümlenerek birbirine yakın sıcaklık değerlerinin elde edildiği ve duvar içerisinde hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı açısından en iyi duvar yapısının FDM’nin dışta olduğu durumda elde edildiği görülmüştür.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 15 Ekim 2021
Received in revised form 20
November 2021
Accepted 25 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Phase change material (PCM),
temperature distribution, ANSYS,
Winter conditions

In this study, temperature distributions through thicknesses of walls were investigated numerically in ANSYS by using Phase Change Material (PCM) instead of conventional thermal insulation materials on the building exterior walls. For this purpose, 5 different wall models were determined and analysed for winter climatic conditions by considering the climate data of Elazığ province. For these determined wall models, firstly the temperature distributions through the thickness of the wall were calculated, and then the time lag and decrement factors representing the thermal storage capacities were determined. As a result, it is seen that temperature fluctuations in the wall was dampened considerably, especially with the use of FDM, and temperature values close to each other are obtained and they remain almost constant inside the wall. In addition, it was observed that the best wall structure in terms of maximum time lag and minimum decrement factor was obtained when the FDM was outside.

Doi: 10.24012/dumf.1051456

* Sorumlu Yazar

Giriş

Günümüzde artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme gibi durumlar enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaçlardan dolayı alternatif enerji kaynakları bulma, eldeki enerjiyi depolama ve kullanılan kaynakların tasarrufu gibi konular üzerine daha çok yoğunlaşmaya başlanmıştır.

Dünya da enerji ihtiyacının %78'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların gittikçe azalması gelecekte dünyanın enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında zorluk çekileceğini göstermektedir. Ayrıca fosil yakıtların doğaya zarar verdiği de unutulmamalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı farklı enerji kaynakları araştırılmaya ve eldeki enerjinin daha verimli kullanılması için çalışmalar devam etmektedir [1].

Bir işi daha az enerji ile yaparak enerji tasarrufu yapılabilir. Binalarda kullanılan enerjinin büyük kısmı ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır. Bu enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Bu nedenle bina dış duvarlarının yalıtılması gerekmektedir. Yapılarda uygun yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla enerji kayıpları azalacağından ısıtma tesisinin kurulum maliyeti de azalacaktır. Kurulum maliyetleri ve ısı kayıpları nedeniyle harcanan gereksiz enerji düşünüldüğünde yalıtımın ne kadar önemli olduğu anlaşılmış olur.

Binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarında verimliliği arttırmak için faz değiştiren maddeler (FDM) kullanılmaktadır. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir ve FDM'nin bina uygulamalarında kullanımına tuz hidratlarının bir binada kullanılması ile 1970 yılında başlanmıştır [2].

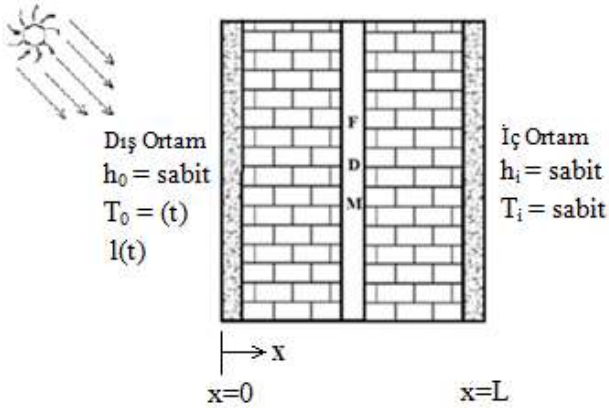
Yapılan literatür araştırmasında FDM'ler ile ilgili sayısal ve deneysel olmak üzere birçok farklı uygulamayla karşılaşılmıştır. Bu konu ile ilgili olmak üzere yapılan çalışmalar incelendiğinde Çevik [3] Türkiye'nin güneydoğusunda duvar yapısının ısı verimini artırmak ve ısı yalıtım alternatifi oluşturmak amacıyla iki özdeş test odası inşa etmiştir. Test odalarından birinin duvarı FDM doldurulmuş polikarbonat malzeme ile kaplanmıştır. Deneyler sonucunda FDM ile kaplanan duvarın kaplanmayana göre daha iyi ısı yalıtım etkisi yaptığı görülmüştür. Çırakman [4] faz değiştiren maddeyi güney duvarda kullanarak trombe bir duvar tasarlamış ve bu duvarın yıllık performansını deneysel olarak incelemiştir. Kandasamy vd [5] faz değiştiren malzeme uygulanmış bir kompozit duvarın yıl boyunca uygulanabilirliğini araştırarak yaz ve kış aylarında enerji tasarrufunun etkisi ile iç yüzey sıcaklıklarındaki dalgalanmaları incelemişler. Konuklu [6] Faz değiştiren malzemeleri mikrokapsülleyerek enerji depolama özelliğinin binalarda sağlayacağı enerji tasarrufunu incelemiştir. Sonuçlar uygulamanın; kış şartlarında ısıtma için %10-15 arası ve yaz şartlarında soğutma için %5-10 arası verim sağladığını göstermiştir. Kurt [7] beton karışımlarında faz değiştiren madde kullanarak dayanımı bozmadan ısı performansını

artırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla faz değişim sıcaklığı 23-26 °C olan 110 J/g gizli ısıya sahip parafin kullanmıştır. FDM kullanılan betonun kullanılmayana göre daha yüksek bir ısı performansına sahip olduğunu göstermiştir. Mushtaq vd [8] yalıtım olarak faz değiştiren malzeme kullanımını deneysel olarak incelemişler. Bu çalışma için standart ve FDM kullanılan iki ayrı oda inşa ederek Faz değiştiren malzeme olarak 44 °C erime sıcaklığına sahip olan parafin kullanmışlar. Quanying vd [9] duvarlara farklı şekilde yerleştirilmiş faz değiştiren malzemelerin termal özelliklerini incelemek için parafin kullanılmıştır. Faz değiştiren malzeme kullanılan duvar ile klasik beton duvar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre doğrudan karıştırma yöntemine nazaran laminasyon enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan duvarda ki enerji tasarrufu daha iyi olmuştur. Bu yöntem ile hazırlanan faz değişim malzemesinin gizli ısı depolama kapasitesi ve daha belirgin enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Laminasyon yönteminin karmaşık ve uygulanabilirliğinin zorluğu vurgulanmıştır. Örengül [10] yapıların FDM içeren tavanın ısı yalıtımına olan etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Bu çerçevede iki özdeş yapı inşa etmiştir. Yapıların birinin tavanı FDM doldurulmuş delikli tuğlayla örülmüştür. Sonuç olarak FDM kullanılan tavanın diğerine göre daha iyi bir günlük ısı yalıtımı sağladığı saptanmıştır. Tokuç [11] faz değiştiren malzemelerin ısı depolama amacıyla yeni nesil bina malzemesi olarak kullanımının enerji kazanımı sağlayacak bir yöntem geliştirmesini amaçlamıştır. Kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçlarda FDM ile geliştirilen yapı bileşenlerinin binalarda kullanımına yardımcı olabilecek veriler tartışılmış ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Yukarıda görüldüğü gibi literatürde FDM kullanımıyla ilgili çalışmaların çoğunun deneysel olduğu ve enerjinin depolanarak ortamın ısıtılması amaçlandığı görülmektedir. Bu çalışmada ise bina dış duvarlarında yalıtım yerine FDM kullanımının etkisini araştırmak için beş farklı duvar yapısı ele alınarak ve kış şartları göz önünde bulundurularak duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları, faz kayması ve sönüm oranları sayısal olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar güney ve kuzey yönleri için ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek şartlara yakın bir analiz gerçekleştirmek için bina dış yüzeyinin gün boyunca değişen güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklıklarına maruz kaldığı göz önünde bulundurulmuştur.

Matematiksel Metot

FDM içeren katmanlı duvar Şekil 1'de gösterilmiştir. Duvarın iç ve dış yüzeylerinde 2 cm kalınlığında sıva bulunmakta olup duvar 2 cm FDM ve toplam 20 cm kalınlığında tuğladan oluşmaktadır. Tuğla ve sıva katmanları için fiziki özelliklerin homojen olduğu ve sıcaklıkla değişmediği kabul edilmiştir. Duvar katmanları arasındaki temas direnci dikkate alınmamıştır.



Şekil 1. FDM ile yalıtulmuş duvar modeli

Ortamın ısı kazanç ve kaybının hesaplanabilmesi için duvarın iç yüzey sıcaklığının bilinmesi gerekir. Katmanlı düzlem duvarda sıcaklık dağılımı aşağıda verilen geçici rejimde bir boyutlu ısı iletiminin uygun sınır şartları kullanılarak çözümlenmesi ile elde edilmiştir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada $\alpha = k / \rho c_p$ olup k duvar malzemesinin ısı iletkenliği ρ yoğunluk ve c_p ısı kapasitesidir. İç ve dış yüzeydeki sınır şartları aşağıdaki gibidir.

x=L için

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=L} = h_i (T_{x=L} - T_i) \quad (2)$$

x=0 için

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = h_0 (T_e - T_{x=0}) \quad (3)$$

Burada T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olup dış ortam sıcaklığı T_0 , güneş ışınımı şiddeti I, duvarın güneş ışınımı emiciliği a ve dış ortamın taşınım katsayısı h_0 'a bağlı olarak dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_0 + \frac{aI}{h_0} \quad (4)$$

FDM 'nin katı-sıvı ara yüzeyi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [12].

$$k_k \frac{\partial T_k}{\partial x} - k_s \frac{\partial T_s}{\partial x} = \rho L \frac{\partial S_{(t)}}{\partial t} \quad (5)$$

Yapıların Faz Kayması ve Sönüm Oranları

Sürekli değişen iklim koşullarının etkisinde kalan dış duvarlar, ısıtma/soğutma yükünün azaltılmasında ısı kütle olarak rol oynarlar. Duvarı oluşturan katmanların konumu ve termofiziksel özellikleri, binanın ısı performansının belirlenmesinde önemli parametrelerdendir. Bu bağlamda faz kayması ve sönüm oranı binanın ısı enerji depolamasında belirleyici rol oynamaktadır. Günlük sıcaklık değişimlerinin yüksek olduğu bölgelerde, faz kayması ve sönüm oranlarının belirlenmesi, enerji etkin bina tasarımlarında ısıtma yükünün azaltılması için önemlidir.

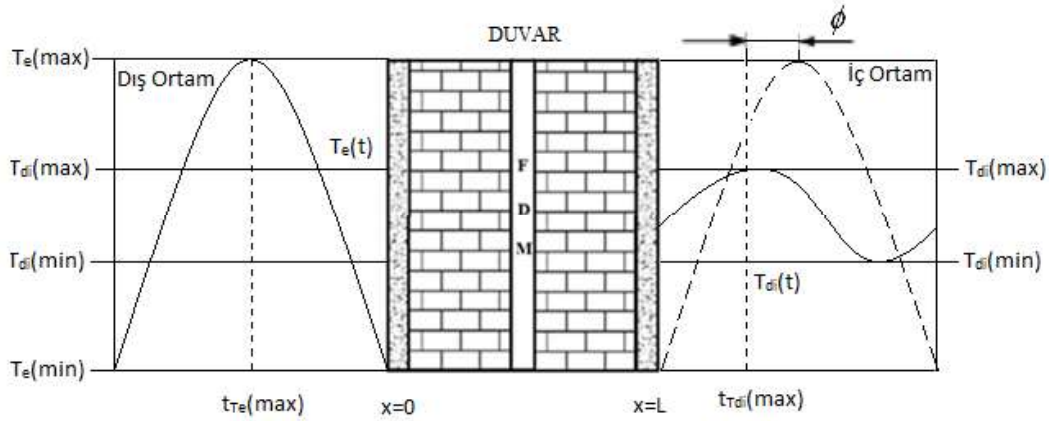
Şekil 2'de görüldüğü gibi sinüzoidal sıcaklık dalgası, dış yüzeyden iç yüzeye ulaşmaya kadar geçen zaman, yani eşdeğer dış sıcaklığın en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark, faz kayması olarak adlandırılır. Bu işlem süresince onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı, başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığının genliğinin eşdeğer çevre sıcaklığının genliğine oranı da, sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu iki özellik, yapıların ısı depolama kapasitelerini hesaplamak için çok önemli bir kriterdir. Faz kayması matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [13].

$$\phi = t_{T_{di}(\max)} - t_{T_e(\max)} \quad (6)$$

Burada $t_{T_{di}(\max)}$ iç yüzey sıcaklığının maksimum olduğu zaman, $t_{T_e(\max)}$ ise eşdeğer dış sıcaklığın en yüksek değerine ulaştığı zamanı belirtmektedir. Sönüm oranı ise matematiksel olarak genliklerin birbirine oranı olup

$$f = \frac{T_{di}(\max) - T_{di}(\min)}{T_e(\max) - T_e(\min)} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir [13].



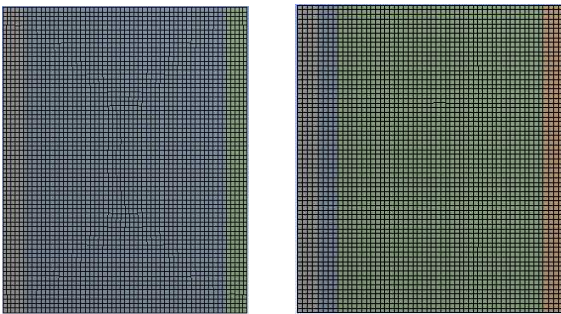
Şekil 2. Faz kayması ve sönüm oranı şematik gösterimi [13].

Sayısal Yöntem

Bu çalışmada, bina dış duvarlarında yalıtım yerine FDM kullanılarak kış şartları için duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı sayısal olarak hesaplanmıştır. Analizler güney ve kuzey yönleri için ANSYS Fluent programı ile iki boyutlu ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Program aşamaları aşağıda sıralanmıştır;

1) *Geometri*: Bu aşamada yalıtımlı ve yalıtımsız duvar modellerinin çizimi yapılmıştır. Yalıtımsız ve yalıtımın dışta, içte ve ortada olduğu durumlar için beş farklı model tasarlanmıştır.

2) *Ağ yapısı (mesh)*: ANSYS programında analizlerin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için duvar modelleri üzerine ağ yapılarının atanması gerekmektedir. Ağ yapısı analizin doğru bir şekilde çözülmesindeki en önemli parametrelerden birisidir. Bu çalışmada kare şeklinde ağ yapısı kullanılmıştır. Yalıtımsız duvar modelinde düğüm sayısı 4067, eleman sayısı 3808 olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı duvar modellerinde ise düğüm sayısı 4014 eleman sayısı 3696 olarak belirlenmiştir. Yalıtımsız ve yalıtımın dışta olduğu duvar modellerine ait ağ yapısı Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ağ yapıları (mesh): (a) Yalıtımsız duvar modeli
(b) Yalıtımın dışta olduğu duvar modeli

3) *Çözüm adımları*: Geometri ve ağ yapısı belirlenen modeller için malzeme özellikleri, sınır şartları, iterasyon

ve yakınsama değerleri ile çözüm metodları bu aşamada programa girilmiştir.

Analizlerde kullanılan FDM, sıva, tuğla ve camyünü malzemelerinin tablolarda belirtilen özellikleri girilmiştir.

Sınır şartı olarak iç ortamda kış şartlarında 18 °C ve taşınım katsayısı sabit 8 w/m²K, dış ortamda ise değişken sıcaklık şartı ile taşınım katsayısı 23 w/m²K olarak belirlenmiştir. Dış yüzey 24 saat boyunca değişen güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklığına maruz kaldığı için 24 farklı eşdeğer sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Değişken sıcaklık şartının programa uygulanabilmesi için User Defined Function (UDF) da kullanılmak için bir C kodu oluşturulmuştur. Bu kod sayesinde her bir saatin sıcaklığı farklı olacak şekilde ardıl günlerde tekrarlı olacak şekilde yazılmıştır. Bu sayede birkaç gün üst üste her bir saatin değeri kendi zamanı geldiğinde sınır şartı olarak otomatik uygulanmıştır.

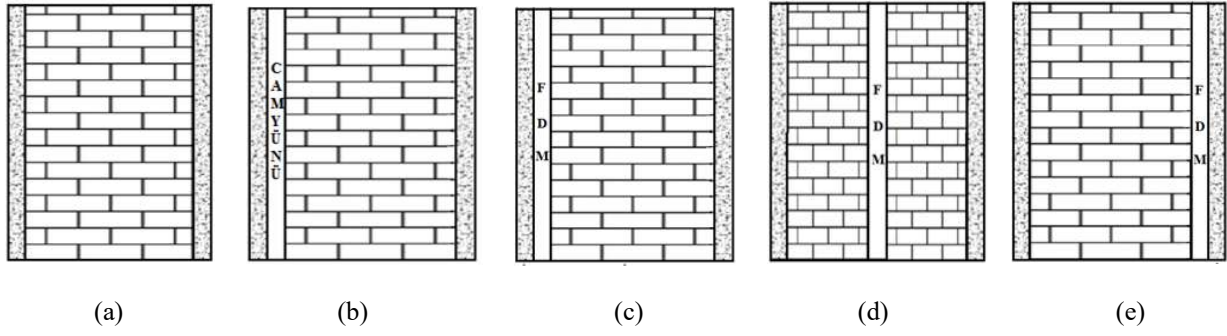
Çözüm metodu olarak basınca dayalı SIMPLE seçeneği kullanılmıştır. Sistem başlangıç sıcaklığı olarak 18 °C olarak belirlenmiştir. Yakınsama değeri olarak continuity = 1e-03, x-y velocity = 1e-03 ve energy = 1e-06 olarak girilmiştir. İterasyon sayısı 1000 olup her 3600 saniyede bir tüm değerler kaydedilecek şekilde ayarlanmıştır.

Duvar Modellerinin Tanıtılması

Bu çalışmanın ana amacı yalıtım yerine FDM'nin kullanılması ve mevcut yalıtım ile kıyaslanmasıdır. Daha önce çok katmanlı duvarların kalınlıkları boyunca sıcaklık dağılımları ANSYS' de analiz edilmiş ve 3 farklı yalıtımlı duvar yapısı ele alınarak sıcaklık dağılımları yaz ve kış şartları için hesaplanmıştır [14]. Ancak bu çalışmada ise FDM' nin duvar yapısında kullanımı ele alınmış ve mevcut yalıtım malzemesi ile kıyaslanmıştır.

Bu amaçla Şekil 4' de gösterilen beş farklı duvar modeli belirlenerek ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları belirlenmiş ve daha sonra ise ısıl depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları belirlenmiştir. Tüm duvar modelleri, içte ve dışta 2 cm kalınlığında sıva ve toplam 20 cm kalınlığında tuğladan

oluşturmuştur. Camyünü yalıtım malzemesi ve FDM'nin kalınlıkları ise 2 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Duvar modelleri: (a) Yalıtımsız duvar modeli (b) Camyünü'nün dışta olduğu duvar modeli (c) FDM'nin dışta olduğu duvar modeli (d) FDM'nin ortada olduğu duvar modeli (e) FDM'nin içte olduğu duvar modeli

Tasarlanan duvar modellerinin iç ve dış ortamları belirli sınır şartlarına maruzdur. Kış şartlarında iç ortam sıcaklığının sabit 18°C olduğu ve taşınım katsayısının 8 w/m²K olduğu kabul edilmektedir. Dış ortamda ise taşınım katsayısı sabit 23 w/m²K olarak kabul edilip sıcaklığın değişken olduğu ve dış ortamın güneş ışınımına maruz kaldığı göz önünde bulundurulurak eşdeğer sıcaklık

değerleri belirlenmiştir. Bu sıcaklıklar 24 adet olup her bir saat için farklı değere sahiptirler. Farklı eşdeğer sıcaklıkları bir kod yardımı ile programa tanımlanıp analizlerde kullanılmıştır. Bu sayede gerçek şartlara yakın bir analiz yapılmıştır.

Dış ortamdaki eş değer çevre sıcaklıkları güney ve kuzey yönler ayrı olacak şekilde sırasıyla Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Güneye bakan duvarın eşdeğer çevre sıcaklıkları

t (saat)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T _{es} (°C)	-3,10	-3,45	-3,55	-3,56	-3,80	-4	-4,1	-1,63	4,20	7,96	10,27	11,17
t (saat)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T _{es} (°C)	10,97	10,06	7,10	2,87	-0,20	-1,2	-1,9	-2,16	-2,15	-2,34	-2,69	-2,81

Tablo 2. Kuzeye bakan duvarın eşdeğer çevre sıcaklıkları

t (saat)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T _{es} (°C)	-3,10	-3,44	-3,55	-3,569	-3,80	-4,00	-4,10	-3,08	-0,19	1,49	2,88	3,45
t (saat)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T _{es} (°C)	3,58	3,59	2,70	1,41	-0,20	-1,20	-1,90	-2,16	-2,15	-2,34	-2,69	-2,81

Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Termofiziksel Özellikleri

Bu çalışmada FDM olarak 16-18°C aralığında erime özelliğine sahip kaprilik asit kullanılmıştır. FDM'nin ve duvar yapısında kullanılan diğer elemanların termofiziksel özellikleri ise sırasıyla Tablo 3 ve 4' de verilmiştir.

Tablo 3. Kaprilik asitin termofiziksel özellikleri [15]

Erime aralığı	16-18 °C
Gizli Isı	148,5 kJ/ kg
Katı halde ısı depolama kapasitesi	981 kJ/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	901 kJ/kgK
Katı halde termal iletkenlik	0,23 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0,149 W/mK

Katı halde sabit yoğunluk	2110 kg/m ³
Sıvı halde sabit yoğunluk	1950 kg/m ³

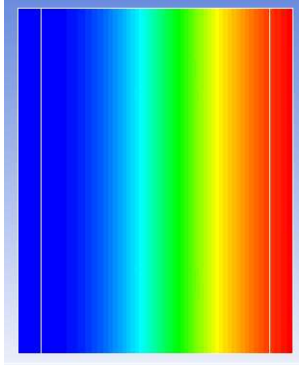
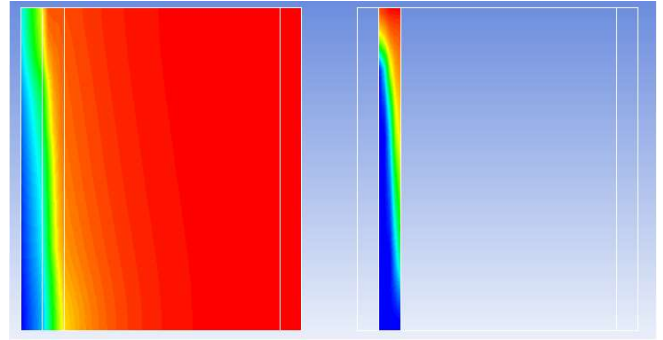
Tablo 4. Sıva ve tuğlanın termofiziksel özellikleri [16]

	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	k (W/mK)
Tuğla	1800	840	0,62
Sıva	1865	840	0,72
Cam yünü	105	795	0.036

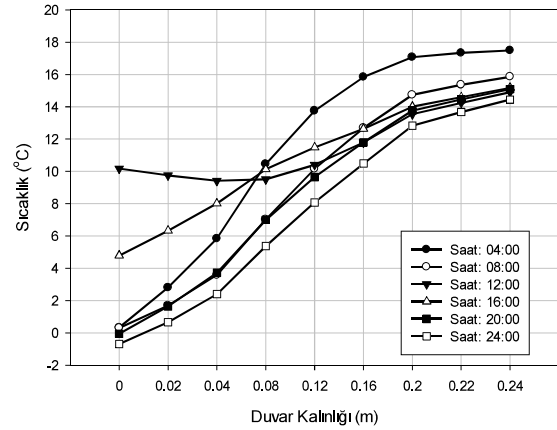
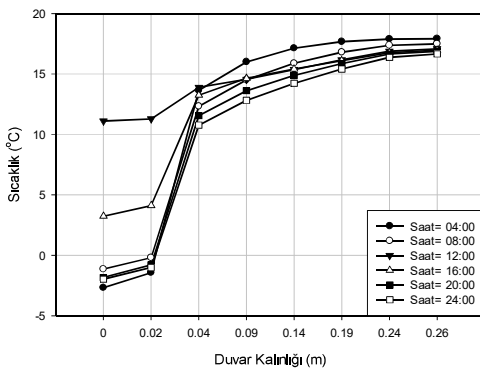
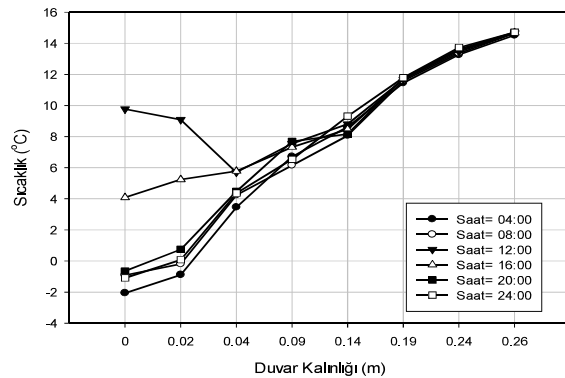
Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmanın ana amacı yalıtım yerine FDM'nin kullanılması ve mevcut yalıtım ile kıyaslanmasıdır. Bu amaçla belirlenen duvar modelleri için ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları hesaplanmış ve daha sonra ise ısıl depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları tespit edilmiştir.

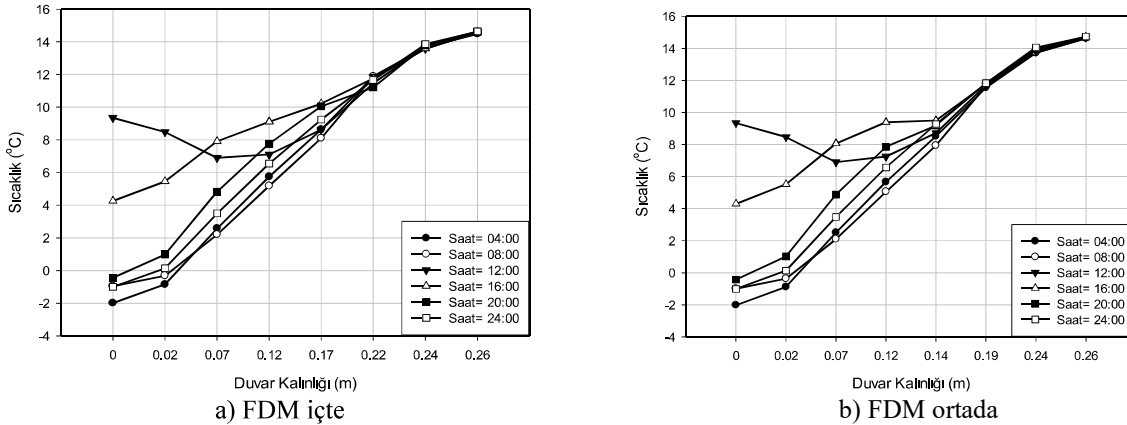
FDM'nin erime gerçekleşen bölgelerini görebilmek için aşağıdaki sıcaklık dağılımları çizilmiştir. Şekil 5 ve 6'da sırasıyla FDM ile dıştan yalıtımlı ve yalıtımsız duvar modellerine ait belirli zamanlardaki sıcaklık dağılımları verilmiştir. FDM'li duvar modellerine ait sıcaklık değişimlerinde erime meydana geldiği zaman sıcaklıktaki değişim şekillerde görülmektedir. Bu değişimler düzenli bir şekilde ilerleyen sıcaklık dağılımının erimenin başlamasıyla farklı bir hal almıştır. Yalıtımsız ve camyünü ile yalıtılmış duvar modellerinin sıcaklık dağılımlarında erime ve katılma olmadığından böyle bir durum gözlemlenmemiştir.

**Şekil 5.** Yalıtımsız duvar modeline ait sıcaklık dağılımı**Şekil 6.** FDM ile dıştan yalıtılmış duvar modeline ait sıcaklık dağılımı ve erime gerçekleşen bölge

Elâzığ'ın kış iklim şartları dikkate alınarak güneşe bakan beş farklı duvar modeli için zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 7-9' da verilmiştir.

**Şekil 7.** Yalıtımsız duvar modeli için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimi**a) Camyünü****b) FDM dışta**

Şekil 8. Camyünü ve FDM'nin dışta olduğu duvar modelleri için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri



Şekil 9. FDM'nin içte ve ortada olduğu duvar modelleri için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri

Yalıtımsız duvar hariç diğer tüm duvar modellerinde duvar kalınlığı 26 cm'dir ve grafiklerde 4'er saatlik aralıklarla duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları görülmektedir. Yalıtımsız duvarda, duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dalgalanmalarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Grafiklere bakıldığında duvarın dış yüzeyinde minimum sıcaklık saat 4'te elde edilirken maksimum sıcaklık saat 12'de elde edilmektedir. Bunun nedeni güneşe bakan duvarda maksimum güneş ışınımının öğlen saatinde elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca duvarın dış yüzeyinde yaklaşık olarak -2°C ile 10°C arasında sıcaklık dalgalanması olduğu ve bu dalgalanmaların duvarın dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru azaldığı görülmektedir. Özellikle bu azalma yalıtım malzemesi ve FDM'nin uygulandığı yerlerde daha belirgin olmuştur. Burada amaç duvara yalıtım veya FDM uygulanarak dış sıcaklık dalgalanmalarını sönmüleyip iç yüzey yayılımını en aza indirmektir.

Duvara camyünü yalıtım uygulandığında yalıtım tabakasının etkisiyle sıcaklık dalgalanmalarının oldukça azaldığı görülmektedir. Ancak duvara aynı kalınlıkta FDM yerleştirilerek bu azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle FDM'nin kullanılmasıyla duvar içerisindeki sıcaklık salınımları oldukça fazla sönmülenerek birbirine yakın sıcaklık değerleri elde edilmiş ve duvar içerisinde hemen hemen sabit kalmıştır. FDM'nin dışta olması durumu içte ve ortada olmasına göre en az sıcaklık dalgalanmalarının olduğu görülmüştür. Yani FDM'nin duvarın dışına yerleştirilmesi duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dalgalanmalarını en aza indirdiği tespit edilmiştir.

Çok katmanlı duvar yapısında katmanların yeri ve kalınlığının faz kayması ve sönmü oranı üzerine etkisi vardır. Duvarın ısı depolama kapasitesinin yüksek olması, faz kaymasını arttırırken sönmü oranını ise küçültür. Faz

kaymasının büyük sönmü oranının küçük değerlerde olması, iç mekan konforu açısından istenen bir durumdur. Tablo 5'de güney ve kuzeye bakan tüm duvar modellerine ait faz kayması ve sönmü oranı değerleri yer almaktadır. Tablodan da görüldüğü üzere FDM ile yalıtılmış duvar modellerine ait değerlerin yalıtımsız ve camyünü ile yalıtılmış modellere göre ısı depolama kapasitesi açısından daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca maksimum faz kayması ve minimum sönmü oranı açısından en iyi duvar yapısının FDM'nin dışta olduğu durumda elde edilmiştir.

Tablo 5. Kış şartlarında güney ve kuzeye bakan tüm duvar modellerine ait faz kayması ve sönmü oranı değerleri

Duvar yapısı	Güney		Kuzey	
	Faz Kayması	Sönmü Oranı	Faz Kayması	Sönmü Oranı
Yalıtımsız	5	0,309	5	0,291
Camyünü	6	0,12	6	0,211
FDM Dışta	9	0,043	8	0,064
FDM İçte	8	0,045	8	0,066
FDM Ortada	8	0,048	8	0,069

Sonuç

Bu çalışmada Elazığ iklim şartlarında yalıtım malzemesi olarak faz değiştiren malzeme kullanılarak kış şartları için sıcaklık dağılımları, faz kayması ve sönmü oranları FDM'nin farklı konumları için ANSYS'de sayısal olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Cam yünü yalıtım malzemeli duvar ile kıyaslanmıştır.

Seçilen FDM'nin uygun bir erime ve katılma sıcaklığı aralığında olması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada

faz değiştiren malzeme olarak 16-18 °C aralığında eriyen kaprilik asit kullanılmıştır.

Sonuç olarak, yaz ve kış şartlarında duvara FDM uygulanarak dış sıcaklık dalgalanmaları sönümlenip iç yüzeye yayılımının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca duvara FDM uygulanarak duvarın ısı depolama kapasitesinin (maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı) arttığı da görölmüştür.

Kaynaklar

- [1] O.M. Yılmaz, “Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2005.
- [2] Y. Konuklu, H.Ö. Paksoy, “Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği”, X. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan 2011/İzmir, 919-930.
- [3] M. Çevik, “Faz değiştiren maddelerle duvar ısı yalıtımının deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.
- [4] A. Çırakman, “Faz değiştiren madde içeren bina güney duvarının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2010.
- [5] R. Kandasamy, Q.X. Wang, and S.A. Mujumdar, “Application of phase change materials in thermal management of electronics,” *Applied Thermal Engineering*, 27, 2822-2832. 2007.
- [6] Y. Konuklu, “Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu”, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2008.
- [7] S. Kurt, “Yeni nesil bina malzemeleri için faz değiştiren madde geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2012.
- [8] I. Hasan, Mushtaq, O. Hadi, Basher, Ahmed, Shdhan, “Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings,” *Sustainable Cities and Society* 36 (2018) 42-58. 2018.
- [9] Y. Quanying, H. Ran and L. Lisha, “Experimental study on the thermal properties of the phase change material wall formed by different methods,” *Solar Energy* 86 (2012) 3099-3102. 2012.
- [10] F. Örengöl, “Gizli ısı depolamalı tavan ısı yalıtımının neysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2010.
- [11] Tokuç A., “Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanı üretiminde kullanılması”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 2013.
- [12] A. Daloğlu, “Isı Yalıtımında Faz Değiştiren Malzeme Kullanımı,” X. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi, İzmir. 2011.
- [13] M. Özel, “Duvar Yüzeylerinde Periyodik Sıcaklık Değişimi Olan Binalarda Isı Kazanç ve Kayıpların Minimum Yapacak Yöntemlerin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2003.
- [14] M. Özel, N. İlgin, “Periyodik Sınır Şartlarına Maruz Kalan Çok Katmanlı Duvarlarda Sıcaklık Dağılımının ANSYS' de Analizi,” *Tesiat dergisi*, 27-32. 2012.
- [15] M. Okcu, “Faz değiştiren maddelerde erime ve katılaşma sürecinin sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2011.
- [16] Cengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar. "Heat and mass transfer." *A practical approach* 2007



Araştırma Makalesi / Research Article

Miyosen yaşlı Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi'nin (Siirt, Güneydoğu Anadolu) bentik foraminiferleri ve paleoortamsal yorum

Benthic foraminifers and paleoenvironmental interpretation of the Miocene Eskigarzan Limestone Member (Siirt, Southeast Anatolia)

Derya SİNANOĞLU

Batman Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü,
derya.sinanoglu@batman.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9307-7810

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 7 Ekim 2021
Düzeltilme: 23 Kasım 2021
Kabul: 27 Aralık 2021
Available online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Miyosen, Bentik foraminifer, Siirt, Paleoortam, Eskigarzan

ÖZET

Siirt ili Kurtalan ilçesi civarında yüzeyleyen Miyosen yaşlı karbonatlı çökeller bölgenin jeolojik olarak değerlendirilmesinde oldukça önem taşır. Bu çalışma, Kayabağlar Formasyonu içerisinde mercekli olarak yer alan ve Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi olarak ayrılan birimin paleontolojik ve sedimentolojik veriler ışığında değerlendirilmesine dayanır. Dört ayrı lokaliteden alınan seri örnekler ile Miyosen yaşlı Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi'nde: *Praebullalveolina curdica* (Reichel), *Sivasina egribucakensis* Sirel ve Özgen-Erdem, *Sivasina batmanensis* Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, *Androsina diyarbakirensis* Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, *Cyclorbiculina minima* Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, *Amphistegina cf. targioni* Meneghini, *Elphidium cf. crispum*, *Miogypsinoides* sp., *Rotalia* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Operculina* sp. ve *Victoriella* sp. gibi iri bentik foraminiferlerin dışında oldukça yaygın kırmızı ve yeşil algler de gözlenmiştir. Bu veriler ışığında birimin yaş konağının erken-orta Miyosen olduğu belirlenmiştir. Bölgede yayılım gösteren bu karbonatlar çok sığ, korunaklı ve orta-düşük enerjili bir lagün çökeltme ortamını karakterize ederler.

Doi: 10.24012/dumf.1051467

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 October 2021
Received in revised form 23
November 2021
Accepted 25 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

*Miocene, Benthic foraminifera,
Siirt, Paleoenvironmental,
Eskigarzan*

ABSTRACT

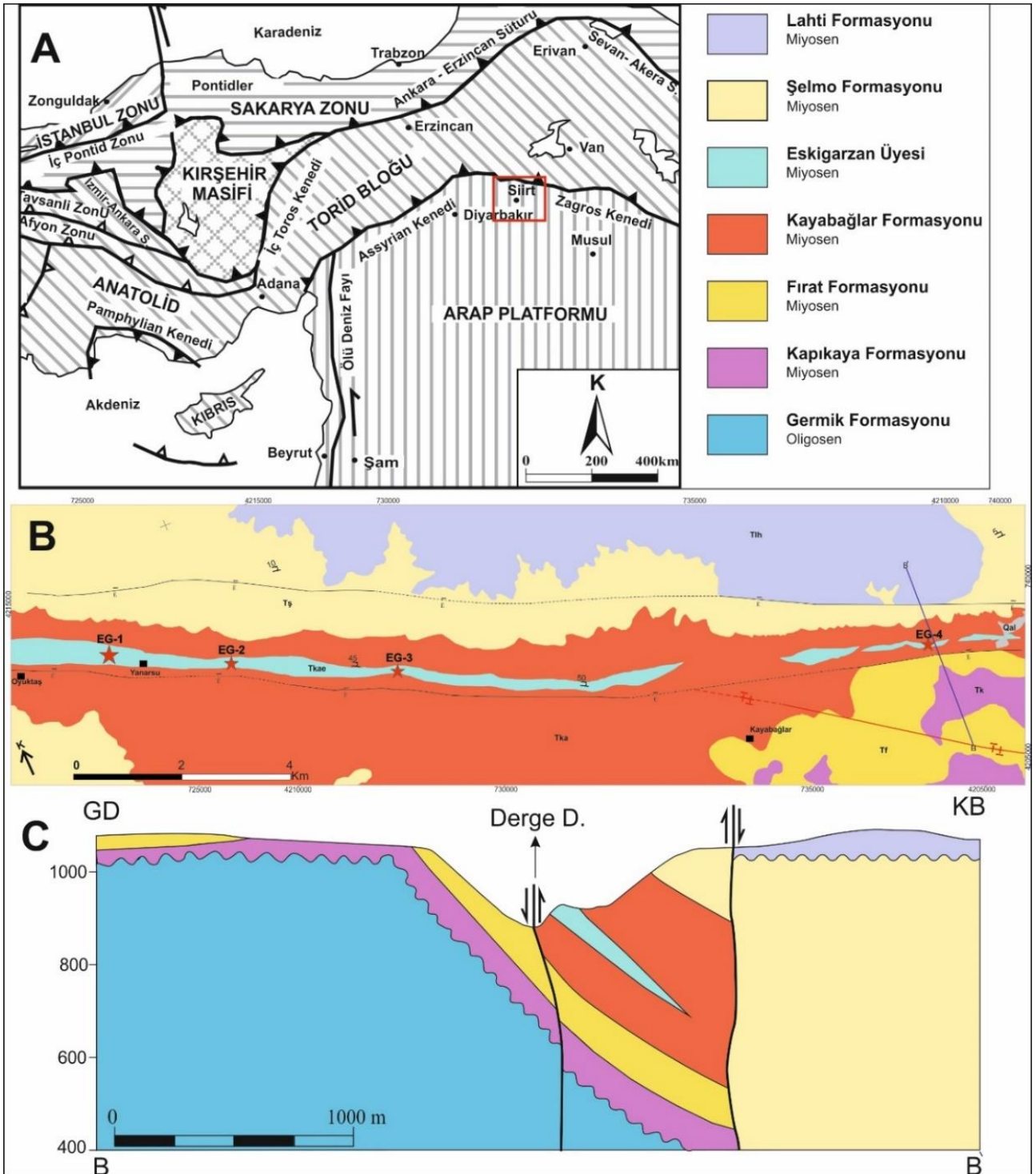
The Miocene aged carbonate deposits outcropping around the Kurtalan district of Siirt province play an important role in the geological evaluation of the region. This study is based on the evaluation of the unit, which is lenticular within the Kayabağlar Formation and discriminates as the Eskigarzan Limestone Member, in the light of paleontological and sedimentological data. Along with serial sampling from four different localities taken from the Miocene aged Eskigarzan Limestone member, apart from large benthic foraminifers such as *Praebullalveolina curdica* (Reichel), *Sivasina egribucakensis* Sirel and Özgen-Erdem, *Sivasina batmanensis* Sirel, Özgen-Erdem and Sinanoğlu, *Androsina diyarbakirensis* Sirel, Özgen-Erdem and Sinanoğlu, *Cyclorbiculina minima* Sirel, Özgen-Erdem and Sinanoğlu, *Amphistegina cf. targioni* Meneghini, *Elphidium cf. crispum*, *Miogypsinoides* sp., *Rotalia* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Operculina* sp. and *Victoriella* sp. quite common coralline and green algae were also observed. In the light of these data, the age of the unit was determined as early-middle Miocene. These carbonates, which are widespread in the region, characterize a very shallow, sheltered and medium-low energy lagoon depositional environment.

* Sorumlu Yazar / Correspondence
Derya Sinanoğlu
derya.sinanoglu@batman.edu.tr

Giriş

Güneydoğu Anadolu Bölgesi jeolojisinin ana yapısını, Arap ve Anadolu kıtalarının zaman boyutu içerisinde göreceli hareketleri kontrol etmiştir. Bu hareketlere bağlı olarak Arap kıtası üzerinde gelişen alçalıp yükselme hareketleri de sedimantasyonu kontrol etmiştir. “Neotetis Okyanusunun Geç Triyas’taki açılımı, Geç Kretase’de meydana gelen dalma-batma mekanizması ile kapanmaya başlaması ve Miyosen’deki kıta kıta çarpışması ile yitilmesi, sonrasında meydana gelen denizel ve göl sel havzalar ile çarpışma sonrası volkanizma Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinin jeolojisini şekillendiren en önemli jeolojik olaylardandır” [1]. Önceki dönemde aşınmış olan Toros yükselimi, Alt Eosen denizinin kuzeye doğru büyük transgresyonuyla geniş oranda kaplanmıştır. Orta Eosen-Oligosen döneminde bütün Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde sığlaşma olmuş ve devamlı karbonatlar çökerek evaporitik ortamlar gelişmiştir. Alt-Orta Miyosen’de Arap kıtası ile Anadolu kıtası arasındaki sıkışma rejimi tekrar aktif hale gelmiş ve kuzey bölgelerde derin denizel türbiditik fasiyeste Lice Formasyonu çökelirken platform alanına doğru Fırat resifal karbonatları çökelmiştir. Üst Miyosen başlarken Toros kuşağına ait Bitlis-Pötürge allohton birlikleri yükselimini tamamlamış, denizel etki giderek kaybolarak karasal çökellerden oluşan Şelmo Formasyonu gelişmiştir (Şekil 1).

Oyuktaş Petrol Sahası’ndan Siirt’e kadar olan bölgede, Eosen-Oligosen ve Miyosen yaşlı evaporitli seviyeler, ayrıntılı bir çalışma yapılmazsa, aralarında diskordans olmasına rağmen yanlışlıkla tek bir birim gibi algılanmakta; Miyosen istifi içerisinde bulunan ve stratigrafik olarak iki farklı kireçtaşı aynı birim olarak yorumlanabilmektedir [2]. Miyosen dönemi boyunca Lice havzası olarak da nitelendirilen çalışma alanında Fırat Formasyonu bariyer resif olarak tanımlanmış, Lice Formasyonu’nun lagün eşleniği olan Kapıkaya Formasyonu ise Miyosen istifinin kıyı fasiyesini temsil eden klastik ve evaporitik istiftin oluşmuştur. Ayrıca bu alanda yüzlek veren birimlerin kuyu verileri ile de korele edilerek bölgesel yorumlar yapıldığı Siyako vd., 2015 tarafından belirtilmiştir. Bölgede güvenlik problemleri nedeniyle önceden yapılmış paleontolojik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Çalışmanın amacı, paleontolojik ve sedimantolojik olarak Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu karbonatlarından yukarıda değinilen özellikleriyle ayrılan Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi’nin iri bentik foraminifer cins ve türlerinin belirlenmesi, sedimantolojik incelemeleri, yaş konağının detaylı değerlendirilmesi ve bunlara dayandırılarak ortam yorumunun yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda birimin harita alanında bulunan dört ayrı lokasyondan yirmi örnek alınmış ve bunlardan da kırk adet yönlü ince kesit yapılarak iri bentik foraminiferler tanımlanmıştır. Çalışma örnekleri Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Paleontoloji laboratuvarında depolanmaktadır.



Şekil 1. A: Çalışma alanını bulduru haritası (Okay ve Tüysüz 1999'dan değiştirilerek alınmıştır); B: Çalışma alanı jeoloji haritası (değiştirilerek alınmıştır [2]); C: Derge Deresi'nde Eskigarzan Üyesi'nin tipik kesitine bakış.

Bölgesel Jeoloji

Siirt-Kentalan bölgesi ve çevresinde görülen stratigrafik istif, daha önce Siyako vd. [3] tarafından belirtildiği gibi birbirlerinden bölgesel diskordanslarla ayrılan 4 dönemden oluşmaktadır:

1.Dönem (Maastrichtiyen-Paleosen); bu döneme ait en yaşlı birim, Gercüş Antiklinali çekirdeğinde mostra veren Maastrichtiyen yaşlı Garzan Formasyonu'dur. Tabanı

görülme birim, çeşitli fasiyeslerdeki sığ denizel karbonatlardan oluşur. Bu karbonatlar, dereceli olarak Maastrichtiyen-Paleosen yaşlı Germav Formasyonu'nun pelajik şeyl ve marn egemen, denizel litolojilere geçer. Formasyon, zaman içerisinde üste doğru regresif bir özellik kazanır. Bazı alanlarda Germav'ın üzerinde görülen ve Paleosen yaşlı denizel karbonatlardan oluşan birim Becirman Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Sözü edilen regresyon sonucunda, yine Paleosen'e ait olan ve Antak

veya Gercüş Formasyonu olarak adlandırılan fluviyal litolojiler çökelmiştir. Karasal birimlerle biten bu çökeltme evresini, bölgesel bir aşınma evresi izlemektedir.

2.Dönem (Eosen-Oligosen) başlangıcında, Eosen’de gelişen bir transgresyonla, taban klastikleri ve sığ denizel karbonatlardan oluşan Hoya Formasyonu çökelmiştir. Eosen sonu Oligosen başlarında ise, bu deniznin giderek sığlaşma ve kurumasıyla evaporitlerin yoğunlukta olduğu Germik Formasyonu gelişir. Daha sonra, yeni bir yükselme ve aşınma evresi görülür.

3.Dönem (Miyosen): Aşındırılmış yüzey üzerine, Erken Miyosen’de yeni bir transgresyon başlar. Bu defa, yine bir taban klastiği seviyesi olan Kapıkaya Formasyonu’ndan sonra, sığ bir karbonat platformunda Fırat Formasyonu’nun sedimantasyonu görülür. Daha üstte, Fırat’la geçişli ve kesiksiz bir şekilde yer alan ve birbiriyle yanal geçişli olan iki ayrı formasyon görülmektedir: 1. Kısmen derin denizel Lice Formasyonu ve 2. Sığ denizel-evaporitik-karasal Kayabağlar Formasyonu. Orta-Geç Miyosen’de ortamın tedricen ve bütünüyle karasal ortama dönüşmesi, fluviyal fasiyeste olan Şelmo Formasyonu’nun gelişmesini sağlar. Böylece altta bir transgresyonla başlayan denizel dönem, üstte regresif olarak bu karasal çökeltme ile sona erer.

4. Dönem (Pliyo-Kuvaterner): Stratigrafik olarak en üstte ve aşındırılmış yüzeyler üzerinde; Pliyosen yaşlı fluviyal Lahti Formasyonu, Kuvaterner’de ise bazalt, alüvyon taraçası ve alüvyon birimleri bulunmaktadır.

Çalışılan bölgede Oligosen yaşlı dolomit ve kumtaşı katkılı evaporitlerden oluşan Germik Formasyonu [4] üzerine denizel bir transgresyonla Miyosen istifi gelmektedir. Miyosen dönemi, transgresif olarak bir taban klastiği ile başlamakta, sığ denizel Fırat karbonatlarına geçmekte,

evaporitik Kayabağlar Formasyonu ile devam etmekte ve akarsu çökellerinden oluşan Şelmo Formasyonu ile son bulmaktadır. Kayabağlar Formasyonu içerisinde kireçtaşlarından oluşan merceksele Eskigarzan Üyesi ayrılabilir (Şekil 1,2).

Transgresyonun başlangıcında enerjinin yüksek olmasına bağlı olarak kalınlığı 30 metreye kadar ulaşan bir taban konglomerası gelişmiştir. Bu birimin çeşitli adlamaları bulunmasına rağmen en doğru tanımlama Keskin [5] tarafından Başur Konglomerası olarak yapılmıştır. Transgresyonun yavaş olduğu bazı kesimlerde çok incedir veya hiç çökelmemiştir [2]. Kiremit rengi, gri, kalın tabakalı, iri taneli kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşmaktadır. Bu birim Siyako vd. [3] tarafından Kapıkaya Formasyonu olarak adlandırılmış ve tarafımızdan da bu şekilde benimsenmiştir. Taban klastikleri üstte doğru dereceli olarak sığ denizel kireçtaşlarına geçmektedir. Fırat Formasyonu olarak adlandırılan [6] birim, yaygın olarak veya şeritler halinde haritalanmakta ve genellikle dayanımlı olan kireçtaşı litolojisi nedeniyle sarp tepelerde görülmektedir. Çalışılan alanda kalınlığı 50 metreye kadar çıkmaktadır. Çoğunlukla yama resifi ve resif yakını fasiyes özellikleri de olan sığ denizel karbonatlardan oluşur, krem-bej renkli, orta-çok kalın veya som tabakalıdır. Kireçtaşları mikroskopik olarak, biyoklastik tanetaşı/istiftaşı şeklinde tanımlanırlar. Kireçtaşlarının tipik özelliği mercan kolonileri ve kırmızı alglerin yanısıra makro ve mikro fosilleri de içermesidir [2].

Oyuktaş Sahası’ndan başlayarak Siirt’e kadar olan bölgede mostra veren, altta Fırat ve üstte Şelmo Formasyonu ile dereceli geçişli olan birim, çok sığ denizel, evaporitik ve fluviyal bir ortam ürünüdür. Birimin toplam kalınlığı 200-400 metre kadardır.



Şekil 2. Yanarsu yakınlarındaki Eskigarzan Üyesi ve Kayabağlar Formasyonu’nun görünümü

Bölgede karasal evrelerde zaman zaman deniz istilaları olmuş, marn ve şeyllerin yanı sıra mercekse görünümde (Şekil 2) sığ denizel kireçtaşı seviyeleri de gelişerek bunlar ilk defa Bolgi [4] tarafından Eskigarzan Kalkeri olarak adlandırılmıştır.

Bu çalışmanın asıl konusunu oluşturan Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi litolojik olarak Fırat Formasyonu kireçtaşlarına çok benzemesine rağmen, tipik olarak hiçbir yerde taban klastiği gözlenmez. Mostrada kuzeybatıda Oyuktaş Köyü'nden Güneydoğu'da Kurtalan kuzeyine kadar olan alanda bir şerit şeklinde, mercekse şekilde haritalanmıştır (Şekil 1,2). Birim sığ denizel biyoklastik ve sert-masif kireçtaşlarından oluşur, beyaz-gri renkli, orta-çok kalın veya som tabakalıdır, bölgede kalınlıkları 35 metreye kadar ulaşır.

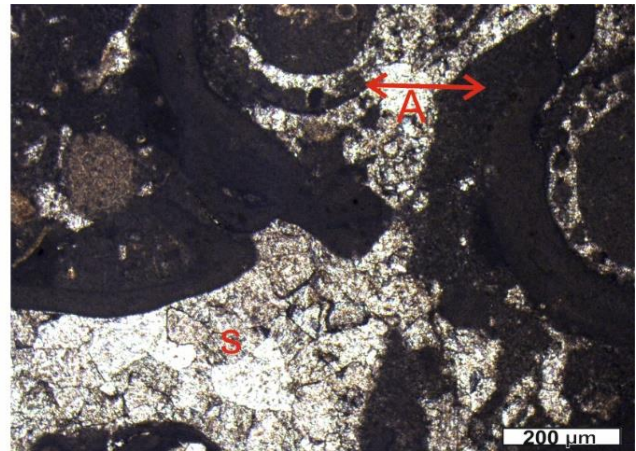
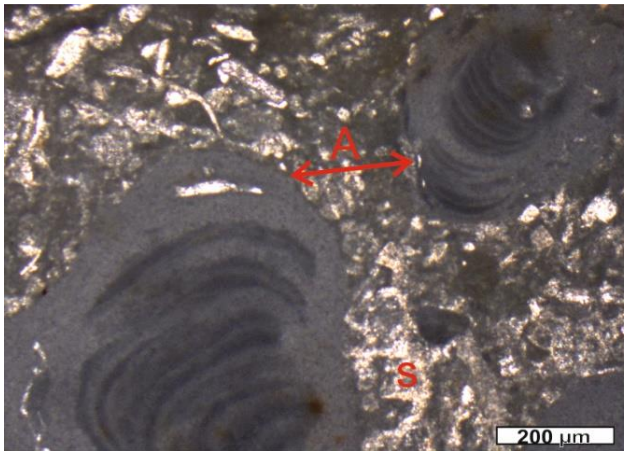
Kayabağlar Formasyonu ortamın bütünüyle karasal ortama dönüşmesi sonucunda tedricen Şelmo Formasyonu'na [4] geçer. Fluvial klastiklerden oluşan bu birim ile Miyosen istifli tamamlanmış olur ve daha üste açısız diskordanslı olarak yine fluvial çökellerden oluşan Lahti Formasyonu [4] gelir.

Eskigarzan Seri Örnekleri

Bu örnekler, 1/25.000 ölçekli M 47-a2 paftasında, Yanarsu Köyü ile Kurtalan ilçesi arasında yer alır. Yaklaşık kalınlığı 20-35 m arasında değişen formasyonda dört ayrı noktadan 20 adet örnek alınmış olup, bunlardan da 40 adet yönlü ince kesit üzerinde paleontolojik çalışmalar

yapılmıştır. Araziden alınan örnekler sert kayalardan oluştuğu için sert kayaç örnekleri öncelikli olarak laboratuvarındaki Petrocat makinasına yerleştirilerek birkaç mm kalınlıkta kesilmiştir. Lam üzerine yapışacak yüzeyin bir cam levha üzerinde aşındırıcı demir tozlarıyla pürüzleri giderilmiş olup benzer şekilde lamin yapışacak yüzeyi de demir tozunda aşındırılır. Isıtıcı yardımıyla kanada balzamu ile örnek hava kalmayacak şekilde cama yapıştırılır. Kısa bir müddet soğuma sonrasında örnekler inceltirilir. Mikroskop altında incelenebilecek kalınlığa getirmek için ise lama yapılmış örnek, cam üzerinde ince demir tozları ile iyice aşındırılır ve istenilen kalınlıkta ince kesit alımı sağlanmış olur. Alınan örnekler harita üzerinde ancak bir nokta olarak gösterebilecek mostralarda seri olarak tabandan tavana doğru alınmıştır. Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi az veya çok belirgin, kalın katmanlı, bol fosilli, çok sert kırıklı ve çatlaklı, beyaz, gri veya pembemsi renkli özellikleriyle ayırt edilir.

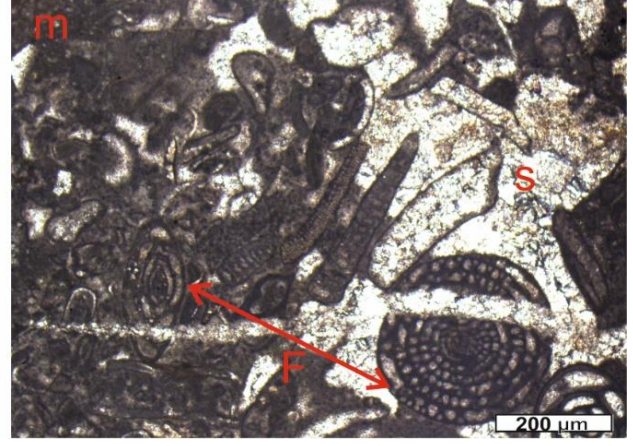
EG-1: 38.042955D; 41.551990K: Yanarsu Köyü yaklaşık 500m batısında mermer ocağını da içine alan bu kesitin (20-25m) mikroskopik incelemelerinde tabandan itibaren bol fosilli, az intraklast taneli ve yer yer demiroksit kalıntıları olduğu gözlenmiştir. Dunham (1962) sınıflamasına göre istiftaşı niteliğinde olan kayaç mikrit ve sparit bağlayıcıdır. Fosil içeriği %70-80, sparit bağlayıcı %15-20 ve mikrit bağlayıcı %10-15 civarındadır. Fosil içeriği açısından oldukça zengin porselen kalker ve hiyalin kalker bentik foraminiferler, kırmızı alg, yeşil alg, ekinit, bryzoa ve mercan içerir (Şekil 3).



Şekil 3. EG-1 karbonat mikrofasiyesi (A: alg; s: sparit bağlayıcı)

EG-2: 38.033260D; 41.575624K: Yanarsu Köyü yaklaşık 1,5 km doğusunda yer alan kesitin (30-32m) mikroskopik incelemelerinde tabandan itibaren bol fosilli, bol algli, sparit ve mikrit bağlayıcıdan oluştuğu gözlenmiştir. Fosil içeriği %75-85, sparit bağlayıcı %10-15 ve mikrit bağlayıcı

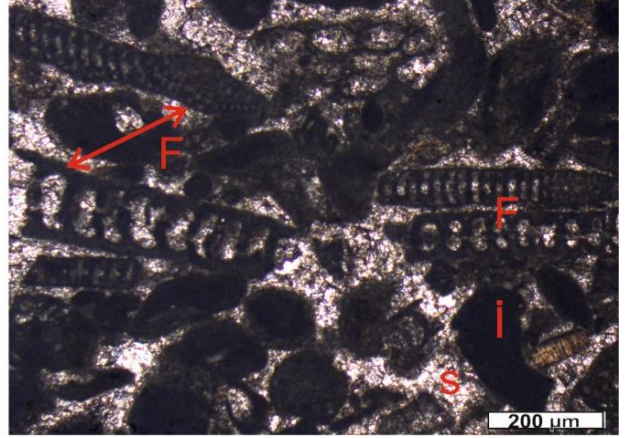
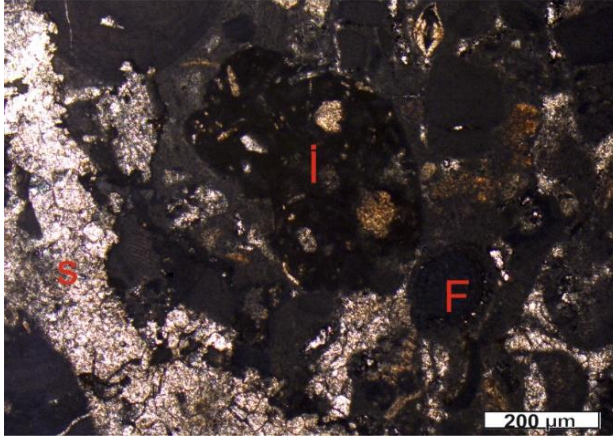
%5-10 civarındadır. Dunham (1962) sınıflamasına göre kayaç istiftaşı niteliğindedir. İnce kesitler foraminifer içeriği olarak Soritid formların yanı sıra Textularid ve Miliolidal formlar açısından zengindir. Yeşil alglerden ziyade kırmızı algler baskınlık kurar (Şekil 4).



Şekil 4. EG-2 karbonat mikrofasiyesi (m: mikrit bağlayıcı; s: sparit bağlayıcı; F: fosil)

EG-3: 38.019505D; 41.606977K: Kapıkaya Köyü 200 m güneyinde yer alan kesitin (30-35m) mikroskobik incelemelerinde tabandan itibaren bol fosilli, bol kırmızı algli, az sparit ve daha çok mikrit bağlayıcıdan oluştuğu gözlenmiştir. Fosil içeriği %75-85, sparit bağlayıcı %15-20 ve mikrit bağlayıcı %5 civarındadır. Mikrit bağlayıcı

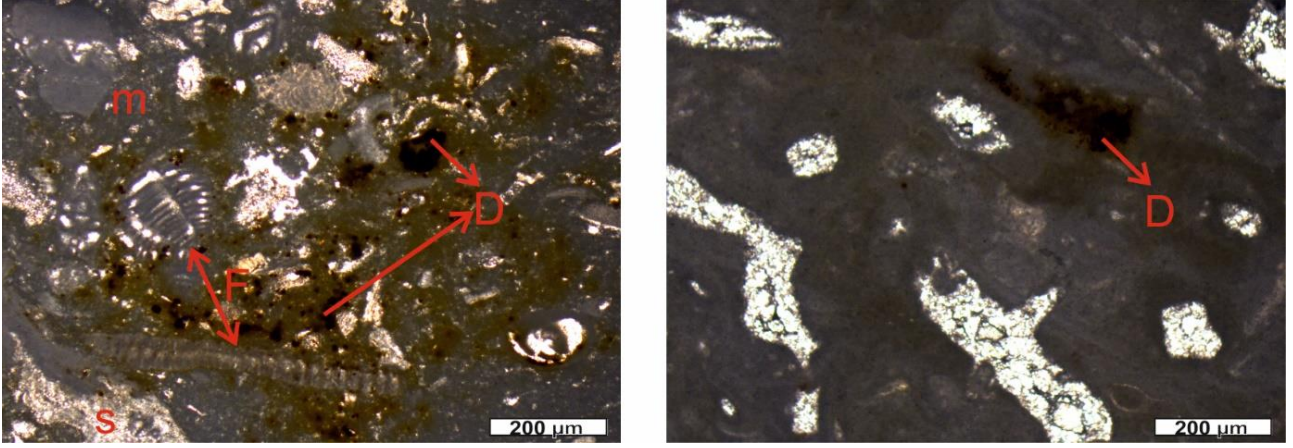
genellikle ikincil olarak ince çatlakların içerisinde gözlenir. Dunham (1962) sınıflamasına göre tanetaşı kategorisinde tanımlanan kayada özellikle hiyalin kavkılı *Operculina* formları ve kırmızı alglerin bolluğu oldukça dikkat çekicidir (Şekil 5).



Şekil 5. EG-3 karbonat mikrofasiyesi (İ: intraklast; s: sparit bağlayıcı; F: fosil)

EG-4: 37.986558D; 41.706580K: Kurtalan çimento fabrikası 2500 m kuzeyindeki Derge Dere kuzey yamacında alınan kesitin mikroskobik incelemelerinde tabandan itibaren bol fosilli, bol kırmızı algli ve daha çok mikrit bağlayıcıdan oluştuğu gözlenmiştir. Fosil içeriği %60-65

sparit bağlayıcı %5 ve mikrit bağlayıcı %35 civarındadır. Demiroksit kalıntıları bu kesitte daha fazladır ve kayaç istifaşını karakterize eder. Soritid formlar ve alglerin baskınlığı daha fazladır (Şekil 6).



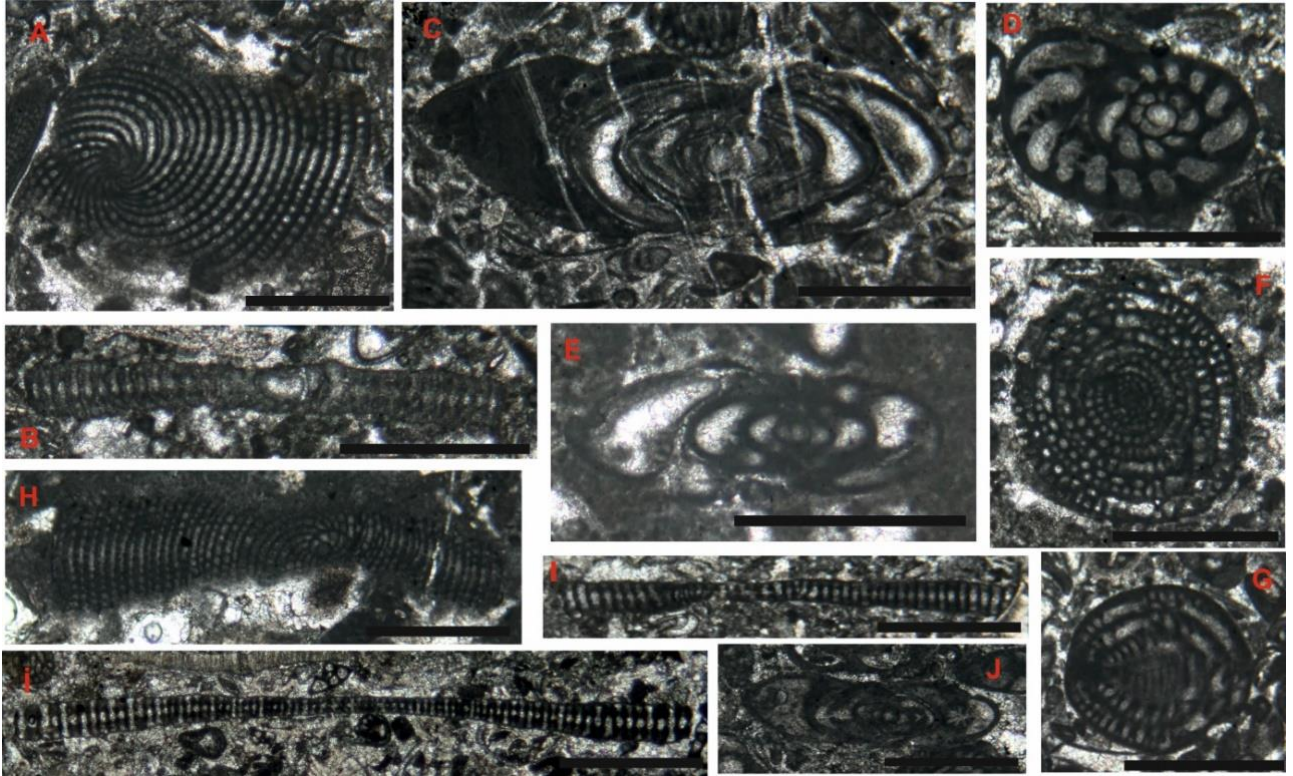
Şekil 6. EG-4 karbonat mikrofasiyesi (D: demiroksit; s: sparit bağlayıcı; m: mikrit bağlayıcı; F: fosil)

Ortamsal Yorum

“Oligo-Miyosen boyunca, Akdeniz bölgesi ve Orta Doğu genellikle daha büyük bentik ve planktonik foraminiferler açısından zengin, sığ deniz çökellerinin birikmesiyle karakterize edilmiştir” [7].

Çoğu bentik organizmanın göreceli olarak sığ sularda ve sakin ortamlarda yaşadığı bilinmektedir. Bölgede yayılım

gösteren Miyosen karbonatları da porselen-hiyalin kavkılı foraminiferler ve kırmızı algler bakımından zenginliği ile tipiktir. Hauerinid türlerden *Sivasina egribucakensis*, *Sivasina batmanensis* ve Soritid türlerden *Cyclorbiculina minima*, *Androsina diyarbakirensis* oldukça sığ, korunaklı ve lagünel ortamları karakterize ederler [8] (Şekil 7).



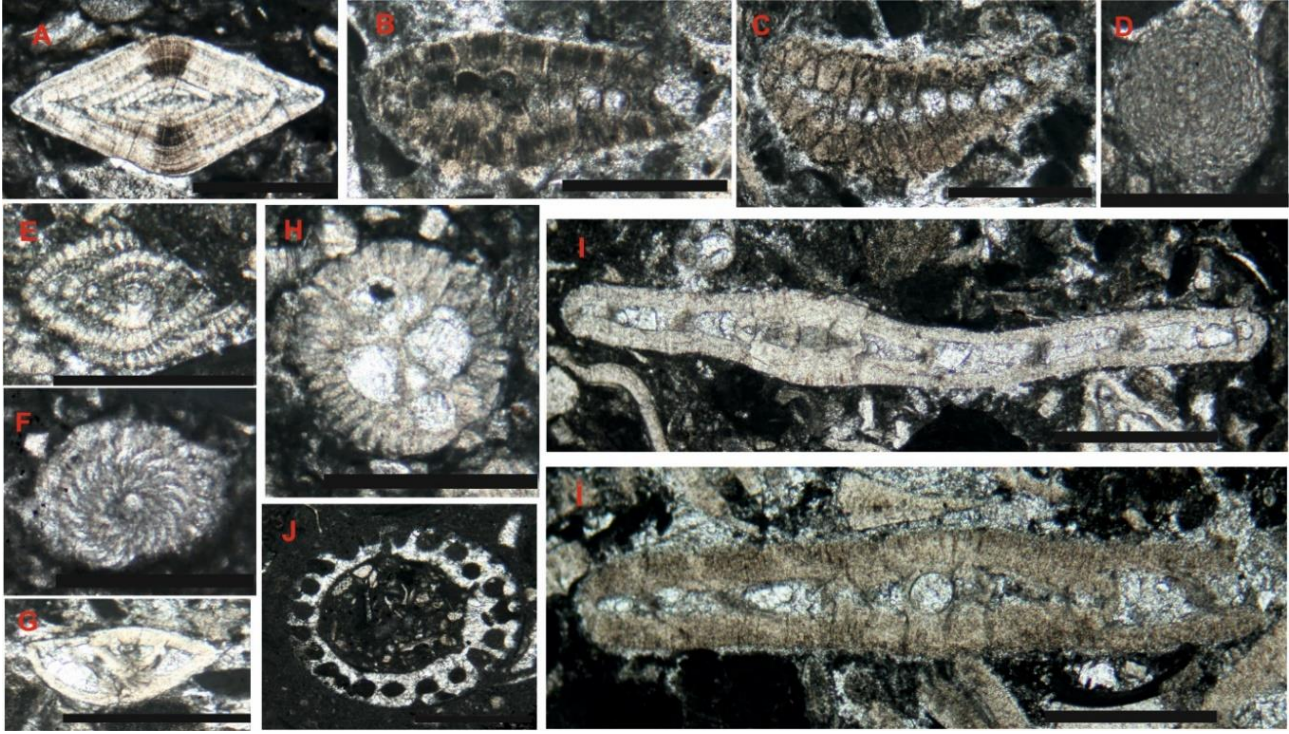
Şekil 7. Miyosen karbonatlarından tanımlanan foraminifer türleri: A, B. *Androsina diyarbakirensis*; C, D. *Sivasina batmanensis*; E, J. *Sivasina egribucakensis*; F, G. *Praebullalveolina curdica*; H, I, İ. *Cyclorbiculina minima*. (ölçek:1000µm)

Sığ ortamlardan daha derin ortamlara doğru foraminifer kavkı yapısındaki değişimleri gözlemlemek mümkündür [9]. *Amphistegina* ve *Operculina* fotik bölgenin tabanı veya çevresinde yaygın olarak birlikte yaşayabilirler. Soritid formlardan bazıları ve *Operculina*'lar Oligo-Miyosen

döneminde enerjinin düşük olduğu yumuşak zeminlerde yaşamlarını sürdürmüşlerdir [9]. Güncel iri bentik foraminiferler üzerinde yapılan çalışmada *Operculina*'nın kalın kavkılı ve sıkı sarımlı olanları sığ derinliklerinde (20-40 m derinlikte) yaşarken, ince kavkılı ve gevşek

sarımlı olanları euphotic zonda (120 m) baskın olduğu gözlenmiştir [10]. *Operculina* ve *Miogypsinooides* gibi hiyalin kavkılı formlar fotik zonun daha derin kısımlarını-orta ramp ve orta ışık koşullarını işaret eder [11]. Amphisteginidlerin ise genel olarak tuzluluk toleransı düşük ve yüksek enerjili ortamlarda, 30 metreden sığ derinliklerde [12] yaşadıkları bilinmektedir (Şekil 8).

Porselen kavkılı büyük bentik foraminiferler fotik bölgenin üst kısmında karbonat platformları geliştirirler [13]. Kırmızı algler de fotik bölge çökellerinden kaydedilen en bol bileşenlerden biridirler [14]. Genel olarak ise birimin düşük-orta enerjili, normal tuzlulukta sığ denizel karbonat ortamlarını yansıtmaktadır.



Şekil 8. Miyosen karbonatlarından tanımlanan foraminifer türleri: A. *Amphistegina* cf. *targioni*; B, C. *Miogypsinooides* sp.; D. *Sphaerogypsina* sp.; E, F. *Elphidium* cf. *crispum*; G. *Rotalia* sp.; H. *Victoriella* sp.; I, İ. *Operculina* sp.; J. Alg. (ölçek:1000µm)

Tartışma ve Sonuçlar

Çalışılan alan ve çevresinde Miyosen dönemi boyunca Neotetis Okyanusu aktif kıta kenarında yer almaktadır. Bu nedenle, Neotetisin kapanma sürecinin izlerini stratigrafik ve paleontolojik olarak gözlemlemek mümkündür. Eskigarzan Kireçtaşı Üyesi litolojik benzerlik nedeniyle Fırat Formasyonu'nun kireçtaşlarıyla karıştırılmaktadır. Bölgenin petrol üretimi için önemi göz önüne alındığında stratigrafinin doğru bir şekilde ortaya konmasının önemi de ortaya çıkmaktadır. Eskigarzan Üyesi'nin kaya-stratigrafik olarak Fırat Formasyonu'nun altında yer alan Kayabağlar Formasyonu içerisinde merceksel olarak bulunduğu arazide çok net gözlenmekle beraber jeolojik haritada da gösterilmiştir. Ayrıca bölgesel olarak belirtmek gerekirse, Fırat Formasyonu'ndan sonra, Lice-Kulp civarında Miyosen bindirmesinin öneyinde gelişen ve Lice iç çukuru olarak adlandırılan [15-16] dar bir kuşakta derin denizel türbiditik fasiyeste Lice Formasyonu çökelerken, aynı dönemde doğu ve güneydoğuya gidildikçe Oyuktaş-Kurtalan-Siirt bölgesinde evaporitik-sığ denizel-karasal bir ortamda Kayabağlar Formasyonu ve Eskigarzan Üyesi gelişmiştir. Siirt ve çevresindeki Miyosen yaşlı Eskigarzan karbonatlarında tanımlanan

formlar ayrıca birçok bölgenin de stratigrafik ve paleontolojik ölçekte korelasyonunun sağlanmasında oldukça önem arz eder. Türkiye ve Dünya geneline baktığımızda farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda benzer foraminifer ve alg topluluklarının, benzer çökeltme ortamlarını karakterize ettiği gözlenmiştir. [17-8-18], benzer topluluğu Erken Miyosen'de Türkiye'de; [19-20], Miyosen'de İran'da; [21] Miyosen'de Umman'da benzer topluluklardan bahsetmişlerdir.

Tüm kesit boyunca porselen kalker ve hiyalin kavkılı bentik foraminiferlerin yanı sıra yeşil ve kırmızı alglerin baskınlığıyla birimin yaş konağı Miyosen'i işaret eder.

Eskigarzan Üyesi'nin taban seviyesindeki baskın faunasını geniş, yassı ve porselen kalker kavkılı *Androsina*, *Sivasina*, *Praebullalveolina*, *Cyclorbiculina* cins ve türleriyle birlikte yeşil alglerin varlığı oluşturur. Bu formlar daha sığ, sakin ve düşük enerjili ve korunaklı ortamın göstergeleridir. Üst kesimlere doğru ise baskın faunasını geniş, iri ve delikli hiyalin kavkılı *Operculina*, *Amphistegina*, *Miogypsinooides* ve *Elphidium*, *Rotalia* cins ve türlerinin yanı sıra kırmızı algler oluşturur. Bu formlar ise biraz daha derin ve çalkantılı ortamları işaret eder. Bu veriler ışığında bölgedeki Miyosen yaşlı bu

karbonatların sedimantolojik ve paleontolojik olarak incelenmesiyle birimin normal tuzlulukta olan sıg ve korunaklı bir lagün ortamında çökeldiği sonucuna varılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmada katkılarında dolayı Prof. Dr. Nazire ÖZGEN-ERDEM, Muzaffer SİYAKO, Dr. Öğr. Üyesi Salih DİNÇ, ve Şafak ÖZSARAÇ'a teşekkür ederim. Makalenin değerlendirme sürecindeki katkılarından dolayı hakemlere teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

[1] A. Atakul-Özdemir, "Palu (Elazığ) Civarında Yüzeleyen Bitlis Masifi Üst Triyas Karbonatlarının Foraminifer Biyostratigrafisi, Mikrofasiyes Analizleri ve Çökelim Ortamları", Türkiye Jeoloji Bülteni, 62:1-16, 2019.

[2] M. Siyako, H. Şeker, İ., Bahtiyar, İ. Özdemir, S.F. Kılınç, D. Arslan, A. Karaçay, S. Özsoy, ve B. İşdiken, "Batman, Beşiri, Kurtalan, Raman ve Gercüş civarının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları", TPAO Arama Dairesi Başkanlığı Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 5546, 132 s, 2015.

[3] M. Siyako, İ. Bahtiyar, T. Özdoğan, İ. Açıkbaz, Ö.Ç. Kaya, "Batman Çevresinde Mostra Veren Birimlerin Stratigrafisi", TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 5463, 154s. Yayınlanmamış, 2013.

[4] T. Bolgi, "V. Petrol Bölgesi seksiyon ölçmeleri AR/TPO/261 no'lu saha ile Reşan-Dodan arası batısındaki sahanın strüktürel etüdüleri", TPAO Arama Grubu, Rapor no. 162, 52s, 1961.

[5] C. Keskin, "Eski Garzan antiklinalinde Miyosen formasyonlarının stratigrafisi", TPAO Arama Grubu Rapor no. 431, 12 s, 1968.

[6] M. Peksu, "Proposed rock unit nomenclature, Petroleum District V. and VI, SE Turkey", TPAO Arama Grubu Rapor no. 5158, 1969.

[7] H. Yazdi-Moghadam, A. Sadeghi, M.H. Adabi, "Foraminiferal biostratigraphy of the lower Miocene Hamzian and Arashtanab sections (NW Iran) northern margin of the Tethyan", Geobios, 51: 211-246, 2018.

[8] E. Sirel, N. Özgen-Erdem ve D. Sinanoglu, "Foraminiferal Description of the Miocene Shallow-Water Limestone from the Diyarbakır and Siirt Areas of Southeast Turkey" Journal of the Palaeontological Society of India, Volume 65(2):31, 131-148, 2020.

[9] L. Hottinger, "Processes determining the distribution of larger foraminifera in space and time. In: Meulenkamp JE (ed) Reconstruction of marine paleoenvironments", Utrecht Micropaleontol Bull. 30:239-253, 1983.

[10] E.K. Yordanova ve J. Hohenegger, "Morphoclines of living operculinid foraminifera based on quantitative characters", Micropaleontology, 50(2), 149-177, 2004.

[11] D. Bassi, L. Hottinger, J.H. Nebelsick, "Larger foraminifera from the Late Oligocene of the Venetian area, north-eastern Italy", Palaeontology, 50:845-868, 2007.

[12] P. Hallock, "Symbiont bearing foraminifera. In: Sen Gupta BK (ed) Modern foraminifera" Kluwer, Dordrecht, pp 123-139, 1999.

[13] J. Hohenegger, "Coenoclines of larger foraminifera" Micropaleontology, 4(Suppl 1):127-151, 2000.

[14] J.H. Nebelsick, D. Bassi, J. Lempp, "Tracking paleoenvironmental changes in coralline algal-dominated carbonates of the Lower Oligocene Calcareni di Castelgomberto formation (Monti Berici, Italy)", Facies 59:133-148, 2013.

[15] M. Rigo de Righi ve A. Cortesini. "Gravity tectonics in foothills structure belt of southeast Turkey", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 48 (12): 1911-1937, 1964.

[16] O. Sungurlu, "VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi", Türkiye 2. Petrol Kongresi Tebliğleri, 85-107, 1974.

[17] E. Sirel, N. Özgen-Erdem ve Ö. Kangal, "Systematics and biostratigraphy of Oligocene (Rupelian-Early Chattian) foraminifera from lagoonal-very shallow water limestone in the eastern Sivas Basin (central Turkey)", Geologia Croatica, 66(2): 83-109, 2013.

[18] U. Işık ve A. Hakyemez, "Integrated Oligocene-lower Miocene larger and planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Kahramanmaraş Basin (Southern Anatolia, Turkey)", Turkish Journal of Earth Sciences, 20(2), 185-212, 2011.

[19] A. Rahmani, H. Vaziri-Moghaddam, A. Taheri ve A. Ghabeshavi, "A model for the paleoenvironmental distribution of larger foraminifera of Oligocene-Miocene carbonate rocks at Khaviz Anticline, Zagros Basin, SW Iran", Historical Biology, 21(3-4), 215-227, 2009.

[20] M.A. Dill, H. Vaziri-Moghaddam, A. Seyrafian, A. Behdad ve R. Shabafrooz, "A review of the Oligo-Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps", Revue de Micropaléontologie, 66, 100408, 2020.

[21] J. Serra-Kiel, A. Gallardo-Garcia, P. Razin, J. Robinet, J. Roger, C. Grelaud, S. Leroy ve C. Robin, "Middle Eocene-Early Miocene larger foraminifera from Dhofar (Oman) and Socotra Island (Yemen)", Arab J Geosci 9:344, 2016.

Taksonomik Liste***Androsina diyarbakirensis*, Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, 2020**

Androsina diyarbakirensis, Sirel vd., 2020, Pl. V, figs. 1-9.

Tanım: Kavkı flabelliform ve büyük olup, kavkı çapı yaklaşık 2,5mm'dir. Kavkı diğer archaiasinid formlarda olduğu gibi porselen kalkerdir.

***Cyclorbiculina minima*, Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, 2020**

Cyclorbiculina minima, Sirel vd., 2020, Pl. VI, figs. 1-7.

Tanım: Kavkı küçük, ince, diskoidal şekilli ve kavkı duvarı porselen kalkerdir. Küresel ilk locayı 4-5 tur planispiral-involüt sarılım takip eder.

***Sivasina batmanensis*, Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, 2020**

Dendritina sp. Betzler vd., 1997, p. 212, Fig. 3a-e.

Sivasina batmanensis, Sirel vd., 2020, p. 4, Fig. 1-9.

Tanım: Kavkı merceksi, büyük ve şişkin olup, kavkı çapı 1,25-2,1 mm arasındadır. Locaları daha uzun ve daha büyüktür. Kavkı duvarı deliksiz ve porselen kalkerdir.

***Sivasina egribucakensis*, Sirel and Özgen-Erdem, 2013**

Dendritina rangi d'Orbigny, Amirsahkarami et al., 2010, p. 81, pl. 2, Fig. 2.

Sivasina egribucakensis Sirel and Özgen-Erdem, 2013, p. 96, pl. IV, Figs. 1-14; pl. V, Figs. 1-10; pl. VI, Figs. 1-6; Fig 6 G, H.

Dendritina cf. *rangi* d'Orbigny, Gedik, 2014, p. 98, pl. 9, Figs. 6-8.

Tanım: Kavkı büyük ve şişkin olup, kavkı çapı 0,66-0,9 mm arasındadır. Kavkı duvarı deliksiz ve porselen kalkerdir. Sarılım erken evrede planispiral-involüt, yetşkim evrede ise planispiral-evolütüdür.

***Praebullalveolina curdica* (Reichel, 1936-37)**

Borelis melo (Fichtel and Moll) *curdica* (Reichel), Robert et al., 2006, pl. 1, Figs. 4, 5.

Borelis curdica (Reichel), Yazdi-Moghadam et al., 2018, p. 236, Fig. 11.

Praebullalveolina curdica, Sirel, Özgen-Erdem ve Sinanoğlu, 2020, Fig. 4A-C; Pl. I, figs. 1-10; Pl. II, figs. 1-6.

Tanım: Kavkı küçük ve küresel olup, ekvatoryal çap 0,6-1,1 mm arasındadır. İlk loca oldukça küçüktür (0,07-0,08 mm). Eksenel kesitlerde localar kalın septalar ile bölünerek, özellikler tanımlamalarda önemli bir gösterge olan 'Y-shape' yapısını oluştururlar. Kavkı duvarı deliksiz ve porselen kalkerdir.

***Elphidium crispum* (Linnaeus 1758)**

Elphidium crispum (Linnaeus), Hottinger, Reiss and Langer, 2001, p. 28, pl. 10, Figs. 4, 5, 6 and 7.

Elphidium crispum (Linnaeus), Yazdi-Moghadam et al., 2021, Fig 11, e, f.

Tanım: Kavkı hiyalin kalker olup, küresel ve küçük bir ilk locaya sahiptir. Sütür çizgileri oldukça kavislidir. Kavkı dikey kanallarla bölünmüştür.



Araştırma Makalesi / Research Article

Hafif Blok Üretiminde Çanakkale Ayvacık Volkanik Tüfünün Agregata Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

*Investigation of the usability as an aggregate in the production of lightweight block of Çanakkale-Ayvacık Volcanic Tuff*Seyide Kılıçaltan¹, Uğur Demir^{2*}¹Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Orcid No: 0000-0001-7878-0068²Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Orcid No: 0000-0001-8828-4711

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 4 Kasım 2021
Revizyon 28 Aralık 2021
Kabul 29 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Volkanik tüf, Hafif yapı malzemesi,
Hafif blok.

Ülkemizdeki deprem gerçeği ve sürekli artan enerji maliyetleri, inşaat teknolojilerinin sürekli olarak gelişmesine neden olmaktadır. Bu gelişmelerin başında hafif yapı malzemelerinin üretilmesi ve çeşitli teknik özelliklerinin sürekli olarak iyileştirilmesi gelmektedir. Bina ölü yükünün azaltılması, ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleri nedeniyle yapı malzemesi üretilmesinde doğal hafif agregalar son çeyrek yüzyılda oldukça fazla kullanılmaya başlanmış, günümüzde de kullanım oranı giderek artmaktadır. Bu çalışmada daha önce hafif yapı malzemesi olarak kullanılmayan Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregası (ufalamp belirli boyutlarda sınıflandırılan) ve genişletilmiş perlit kullanılarak, hafif blok üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı reçeteler kullanılarak (farklı tane boyutu ve çimento oranı) üretilen hafif blok numunelerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık (BHA), basınç dayanımı (BD) ve kapiler su emme (KSE) gibi teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları (BHA: 1208 kg/m³, BD: 11,80 MPa, KSE:1,11 kg/m² dak^{0.5}) standartlarda olması gereken değerler ile karşılaştırılmış, Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregalarının hafif yapı malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 4 November 2021
Received in revised form 28
December 2021
Accepted 29 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Volcanic tuff, Lightweight bulging
materials, lightweight block

The fact of earthquakes in our country and the ever-increasing energy costs cause the continuous development of construction technologies. At the beginning of these developments is the production of lightweight building materials and the continuous improvement of their various technical properties. Due to its features such as reducing the dead load of the building, heat and sound insulation, natural lightweight aggregates have been used quite a lot in the last quarter century, and today the usage rate is increasing gradually. In this study, light blocks were tried to be produced by using volcanic tuff aggregate (crushed and classified) from Çanakkale-Ayvacık region, which was not used as a lightweight building material before. For this purpose, changes in technical properties such as unit volume weight (BHA), compressive strength (BD) and capillary water absorption (KSE) of light block samples produced using different recipes were investigated during the curing periods of 7, 14 and 28 days. The analysis results (BHA: 1208 kg/m³, BD: 11,80 MPa, KSE:1,11 kg/m² dak^{0.5}) obtained were compared with the values that should be in the standards, and it was determined that the volcanic tuff aggregates from Çanakkale-Ayvacık region could be used as light construction material.

Doi: 10.24012/dumf.1051469

* Sorumlu Yazar

Giriş

Deprem yükünü azaltması, hem ses hem de ısı yalıtımında üstün özelliklerinin bulunması, yangına karşı direnç, estetik özellikleri, enerji maliyetlerindeki artış ve yasal düzenlemelerin yalıtımı zorunlu hale getirmesini hafif yapı malzemelerinin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının sebepleri olarak sıralayabiliriz [1],[2]. Hafif yapı malzemeleri, binanın ölü yükünü azaltmasından dolayı, bina hafifletmekte (daha güvenli hale gelmekte), binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde meydana gelen küçülme ise maliyetlerin önemli oranda azalmasına neden olmaktadır [3]-[8]. Yüksek ısı performans ve mekanik dayanıma sahip olan hafif yapı malzemeleri hem enerji verimliliğini sağlarken hem de daha az yakıt kullanılması nedeniyle çevrenin daha az kirlenmesine neden olmaktadır [9]. Hafif yapı malzemesi üretiminde volkanik tüf [4], volkanik cüruf [10],[11], pomza [4]-[8],[10],[12]-[16], diatomit [1],[13], vermikulit, ignimbirit [16],[17], perlit ve geliştirilmiş perlit [2],[9],[18], geliştirilmiş kil [10],[17] gibi doğal ve geliştirilmiş polistiren sert köpük (EPS) gibi sentetik [2],[9],[19] malzemeler de kullanılmaktadır. Hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıklarının 2000 kg/m^3 'den küçük olması gerekmektedir [6],[13]. Kaliteli hafif agregalarda su emme oranının %15'in altında olması ve basınç dayanımının ise en az 5 MPa olması gerekmektedir [20].

Volkanik tüf, volkanik püskürme boyunca kraterden dışarı çıkan, konsolide olmuş volkankülü veya volkan tozundan oluşan kayalardır. Volkanik tüf, bazı kül ve mineral parçalarının yanmış ve kavrulmuş halde havaya fırladığı ve yüzeye düşüp karışarak depolandığı zaman oluşmaktadır [4],[21]. Volkanik tüfler genellikle çok düşük birim hacim ağırlığına, çok yüksek poroziteye ve çok fazla şekil değiştirme yeteneğine sahiptir. Tüf ortalama $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de erimekte, $760 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında herhangi bir değişime uğramamaktadır. Doğal nem oranı düşük, sertliği 5,5-6 arasında, basınç mukavemeti ise $95\text{-}130 \text{ kg/m}^2$ arasındadır [4]. Tüfler, genelde pembe ve beyaz olarak ayrılabilen, beyaz tüfler genellikle tüflü yapının içine gömülmüş küçük metamorfik kayaç parçaları olan fenokristaller iken pembe tüflerde ise çoğunlukla tüflü yapının içine gömülmüş büyük metamorfik parçalar olan fenokristallerden oluşurlar [21]. Tüf agregalarının ana bileşeni SiO_2 'dir, Si ile birlikte Al_2O_3 varlığındaki artış puzolanik aktiviteyi ve dolayısıyla basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır [4].

Çeşitli doğal ve sentetik agregalar ile hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik yapılmış çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

[4]'de Afyonkarahisar tüfü ve Isparta pomzasını kullanarak 4 farklı kalıpta hafif beton üretilmesine yönelik çalışma yapmış, aynı zamanda farklı çimento miktarlarında elde edilen ürünlerin basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik özelliklerini standartlarda belirtilen testleri uygulayarak belirlemiştir. [10]'da Isparta-Karakaya, Isparta-Gelincik, Kayseri, Nevşehir pomzası ile Kula volkanik cürufu ve geliştirilmiş kil numuneleri kullanılarak hafif yapı malzemesi üretilmeye çalışılmıştır. Elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özellikleri standartlarda belirtilen testler uygulanarak belirlenmeye çalışılmış, en düşük birim hacim ağırlığın Kayseri pomzası ile en yüksek birim hacim ağırlığın

Kula volkanik cürufu ile elde edildiği tespit edilmiştir. [11]'de hafif beton üretmek amacıyla Elazığ-Yeniköy volkanik cürufunu tek başına ve kum ile belirli oranlarda karıştırarak kullanılmış, elde edilen ürünün ısı iletkenlik ve basınç dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla standartlarda belirtilen testler uygulanmıştır. Test sonuçları elde edilen ürünlerin hafif yapı malzemesi olduğunu göstermiştir.

[12]'de farklı yörelerden elde edilen (Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas, İzmir-Menderes) pomza agregalarından hafif yapı malzemesi üretmeye çalışmış, bu üç yöre malzemelerini farklı kombinasyonlarda karıştırarak elde ettikleri ürünlerin teknik özellikleri incelemiştir. Ürünlerin teknik özelliklerinin oluşum şartları ile de ilişkili oldukları belirlenmiştir. [14]'de hafif beton üretmek amacıyla doğal Nevşehir pomza agregası ile sentetik EPS kullanılmış, elde ettikleri hafif betonun ısı iletkenlik, basınç dayanımı ve ses yutuculuk gibi teknik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar pomza ve EPS kullanılarak hafif beton üretilebileceğini göstermiştir. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, büyük kalıplar kullanarak elde ettikleri ürünleri, istedikleri ebatlarda dairesel testere ile kesebildiklerini belirtmişlerdir. [5]'de hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Gölcük pomzası ile çimento ile farklı oranlarda silis dumanı ilave edilmiş, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızları standartlarda belirtilen testler uygulanarak belirlenmiştir. Artan silis dumanı miktarı teknik özelliklerde pozitif etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. [15]'de Isparta yöresi pomzası kullanarak hafif bölme panel duvar üretmeye çalışılmış, bu amaçla farklı oranlarda çimento ve katkı maddesinin basınç dayanımı üzerine etkilerini incelenmiştir. Çimento ve katkı oranı arttıkça elde edilen ürünün basınç dayanımında belirgin artışlar elde edilirken, birim hacim ağırlıkta ise belirgin artışların olduğu tespit edilmiştir. [6]'da Isparta, Kayseri, Nevşehir ve Karaman yöresi pomza agregalarını hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla kullanılmış, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen basınç dayanımı, ısı iletkenliği, ses yutuculuğu ve ses iletimi gibi özellikleri farklı ebatlarda üretilen beton numuneleri üzerinde test edilmiştir. Teknik özelliklerin pomza oluşum şartlarından etkilendiği belirlenmiştir. [7]'de Tekirdağ-Çorlu kumu ile Kayseri-Talas pomzasını farklı oranlarda karıştırarak hafif beton üretilmiş, elde edilen ürünün yangın etkisi sonrasında çeşitli teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Pomza miktarının artışı yangına karşı dayanımda belirgin artışlara neden olurken, beton yüzeyinde oluşan sıcaklıkta da belirgin azalışların oluştuğunu belirtilmiştir. [8]'de Van-Erçiş-Kocapınar pomza agregası kullanarak hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik çalışmada, farklı kür uygulamalarının elde edilen malzemelerde su emme ve ısı iletkenliği üzerine etkileri incelenmiştir. 28 gün boyunca günde 3 kez yapılan sulama işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin su emme oranında belirgin bir azalma meydana gelirken, ısı iletkenlikte az da olsa bir iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

[1]'de hafif beton üretmek amacıyla Afyonkarahisar diatomit numuneleri kullanılmış, farklı çimento oranlarının elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çimento miktarındaki artışın basınç dayanımında olumlu yönde etki ettiği, birim hacim ağırlıkta

ise olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir. [13]'de hafif ve yarı hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Atabey agregası, Gölcük pomzası ve Keçiözümlü diatomitlerini belirli oranlara karıştırılmış ve elde edilen ürünlerin teknik özelliklerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri karşılayıp karşılamadıkları tespit edilmiştir.

[17]'de hafif yapı malzemesi üretmek için Aksaray ignimbiriti kullanılmış, farklı tane boyutlarındaki agrega ile farklı çimento oranları kullanarak, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen değerleri karşılayıp karşılamadıkları tespit edilmiştir. [16]'da Nevşehir pomzasını tek başına ve ignimbirit ile belirli oranlarda karıştırarak hafif yapı malzemesi üretilmiş, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık ve basınç dayanımlarında meydana gelen değişim incelenmiştir. Pomza agregasına ignimbirit ilavesi ile basınç dayanımında önemli oranda iyileşme meydana gelirken, birim hacim ağırlıkta belirgin bir artış olduğu belirlenmiştir.

[18]'de hafif beton üretiminde hafif agrega olan perlit ve genişletilmiş perlit ayrı ayrı kullanılmış ve elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, su emme ve basınç dayanım özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Genleştirilmiş perlit kullanımı birim hacim ağırlıkta önemli oranda azalamaların olmasına neden olurken, hem su emme hem de basınç dayanımında negatif etkilerinin olduğu belirlenmiştir. [2]'de hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla İzmir Etimaden tarafından üretilen genişletilmiş perlit, sentetik CMC malzemesi ve kömür tozu kullanılmış, elde edilen ürünlerin standartlara uygunlukları çeşitli testler uygulanarak belirlenmiştir. [9]'da hafif yapı malzemesi elde etmek için doğal agrega olan pomza ve genişletilmiş perlit ile birlikte lastik parçaları kullanılmış, elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özellikleri standartlarda belirtilen testler kullanarak belirlemeye çalışılmıştır. Yazarlar aynı zamanda ürünlerin teknik özelliklerini yapay sinir ağırları tekniğini kullanarak tahmin edilebileceğini belirlenmişlerdir.

[3]'de hafif taşıyıcı yapı malzemesi üretmek amacıyla farklı çimento oranlarında Alman kökenli genişletilmiş kil ve kum belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmış, elde edilen ürünün taşıyıcı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla standartlarda belirtilen testler uygulanmıştır. Elde edilen ürünlerin taşıyıcı özellikte olduğu belirlenmiştir.

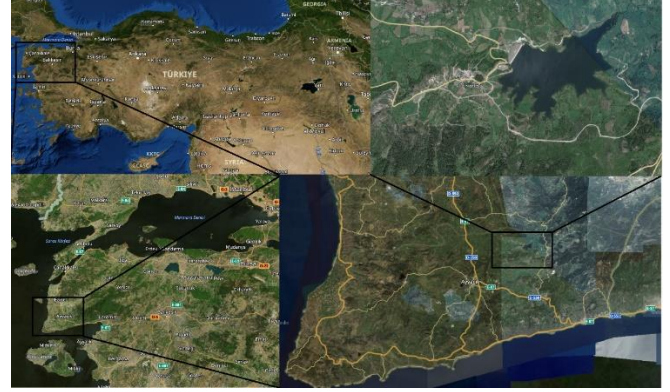
[19]'da hafif alçı blok üretmek amacıyla Sivas yöresi jips numunesi, sentetik EPS malzemesi ve pomza agregasını farklı kombinasyonlarda karıştırılarak kullanılmıştır. Elde edilen ürünlerin kuru yoğunluk, basınç dayanım, su emme ve ısıl iletkenli özelliklerin standart test yöntemleri kullanarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, üzerinde pek çalışma yapılmamış olan Çanakkale Ayvacık Akçin yöresi doğal volkanik tuf agregasının hafif yapı malzemesi (hafif blok) olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı boyut gruplarındaki (0-2 mm ve 2-4 mm) agregalar farklı oranlarda kullanılmış, bununla beraber farklı çimento oranlarının (%28-38) Birim Hacim Ağırlık (BHA), Kapiler Su Emme (KSE) ve Basınç Dayanımlarındaki (BD) etkileri incelenmiş, elde edilen ürünlerin standartları karşılayıp karşılamadığı irdelenmiştir.

Malzeme ve Yöntem

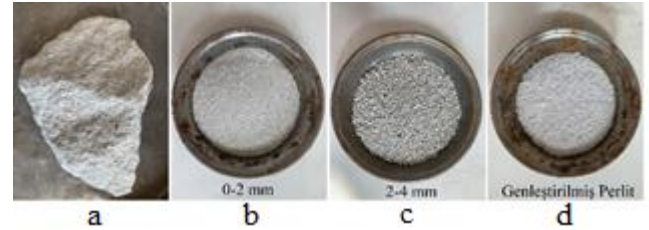
Malzeme

Deneyel çalışmalarda kullanılan volkanik tuf agregası Çanakkale iline bağlı Ayvacık ilçesinin yaklaşık 13 km kuzey-doğusunda bulunan Akçin köyü yakınlarında aktif olarak çalışan özel bir firmaya ait ocaktan alınmıştır. Doğal agregaların alındığı sahanın yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası (googlemap)

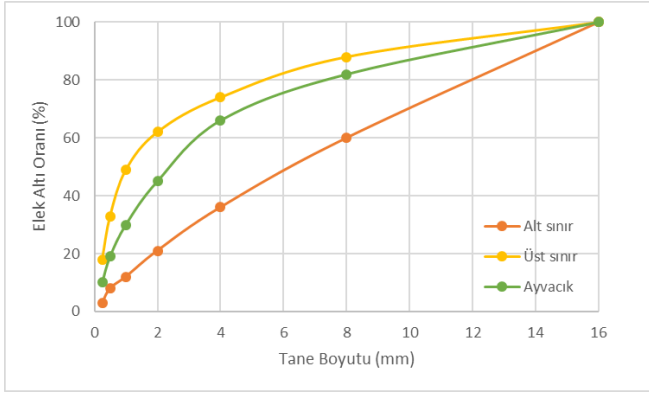
Alınan temsili numunelerin tüvenan, boyutu küçültüldükten ve boyut gruplarına ayrıldıktan (0-2 mm ve 2-4 mm) sonraki halleri ile genişletilmiş perlit numunesi Şekil 2'de verilmiştir. Ocaktan alınan numuneler Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiş, çeneli kırıcı yardımı ile ufalanan agrega numunesi boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analiz sonuçları Şekil 3'de, kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. a-Parça, b-0-2 mm, c-2-4 mm volkanik tuf ve d- genişletilmiş perlit görüntüleri

Tablo 1. Çalışmada kullanılan numunelerin kimyasal analiz sonuçları

İçerik	%
SiO ₂	65,22
Al ₂ O ₃	16,03
TiO ₂	0,22
Fe ₂ O ₃	1,75
CaO	1,8
MgO	2,7
Na ₂ O	1,97
K ₂ O	3,4
K.K	6,43

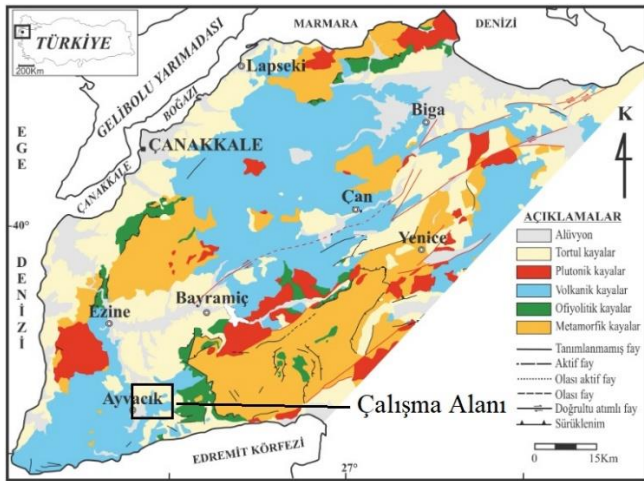


Şekil 3. Ufalama işleminden sonraki gronülometrik dağılım

Ufalama işlemi sonucu elde edilen ürünün gronülometrik dağılımı Şekil 3’de verilmiştir (TS 1114). Hafif blok üretmek amacıyla doğal agrega 0-2 ve 2-4 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Tablo 2’de ufalama işleminden sonra elde edilen numunelerin 0-2 ve 2-4 mm boyut aralığındaki miktarları ve özgül ağırlıkları verilmiştir. Hafif blok üretim aşamasında Gen-Per firmasından temin edilen geliştirilmiş perlit %1 seviyelerinde kullanılmıştır.

Tablo 2. 0-2 ve 2-4 mm agrega özgül ağırlıkları

Tane boyutu (mm)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
Tüf Agregası (0-2 mm)	756
Tüf Agregası (2-4 mm)	1197



Şekil 4. Biga Yarımadası’nda gözlenen ana kaya grupları ve çalışma alanı [22]

Şekil 4’de Biga Yarımadası’nda gözlenen ana kaya grupları ve çalışma alanı görülmektedir. Biga yarımadası, KD-GB yönlü tektonik unsurları barındıran bir yapıya sahiptir. Yarımada’nın temelini Geç Karbonifer-Erken Triyas yaşlı Kazdağ Metamorfileri oluşturmaktadır. Bu kayaçların üzerinde tektonik olarak yerleşmiş arkozik kumtaşı, grovacklar, bazaltik kayaçlar, tüfler, aglomeralar ve kireçtaşlarından oluşan Geç Permiyen-Erken-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ve metamorfizma geçirmiş epiklastik-piroklastik kökenli litolojilerden ve bunları kesen metagranodiyoritlerden oluşan Triyas yaşlı Kalabak Birimine ait kayaçlar bulunmaktadır. Geç Kretase’de ofiyolitik kayaçlardan oluşan bir melanaj gelmiştir. Bölgede Tersiyer,

Orta Eosen neritik kireçtaşları ve bunların üzerine uyumlu olarak gelen volkanik ara katkılı Geç Eosen türbiditleriyle başlar. Oligosen sonunda Biga Yarımadasında önemli bir yükselme ve aşınma evresi olmuş ve yarımada’nın güneyindeki Orta Eosen-Oligosen istifi tümüyle aşınmıştır. Bölgede Erken-Orta Miyosen’de volkanik kayaçlarla eş yaşlı bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tüf ve kömürden oluşan tortullar meydana gelmiştir. Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiş, ayrıca andezit, dasit, riyolit ve asidik tüfler geniş alanlara yayılmıştır. Biga Yarımadasında volkanizmaya bağlı olarak Geç Oligosen-Erken Miyosen aralığında oluşmuş, genellikle granodiyoritik bileşimli sığ sokulumların varlığı bilinmektedir. Tersiyer’de gerilme tektoniğiyle şekillenen havzalarda genellikle karasal tortullar yoğun bir volkanizma eşliğinde oluşmuştur. Geç Miyosen volkanizması sonlanırken, fluvial klastikler Biga Yarımadasının kuzeyinde çökelmiştir. Pliyo-Kuvaterner’de Biga Yarımadasında çakıltaşı, kumtaşı ve şeyl bileşimli fluvial çökeller ile görsel karbonatlar oluşmuş ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma meydana gelmiştir [22].

Deneyel çalışmalarda hafif blok üretiminde ÇimSa markalı Cem II 42,5 R beyaz çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 3’de ve çeşitli özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Deneyel çalışmalarda kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Bileşenler	Değerler (%)
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0,5-6,0
MgO	0,1-0,4
Na ₂ O+K ₂ O	0,2-1,3
SO ₃	1,0-3,0
Kızdırma Kaybı	1,0-2,0
Çözünmeyen Kalıntı	1,0-2,0

Tablo 4. Deneyel çalışmalarda kullanılan çimentonun çeşitli özellikleri (TS EN 197-1 CEM II 42.5R)

Özellikler	Değerler
SO ₃	3.15
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.66
Kızdırma Kaybı(%)	2.05
Priz Başlangıcı(dak.)	150
İncelik (cm ² /g)	3450
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	25
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	48

Hafif blok üretilmesi sırasında agrega ve çimentonun istenilen etkileşimi göstermesi için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi çeşme suyu kullanılmıştır. Çimento-su karışım oranı oldukça önemli bir durumdur, aynı oranda önemli olan bir diğer durum ise tane boyut dağılımıdır. Karışıma fazla su ilave edilmesi, numunelerin şekil almasında sorunlara neden olurken, çökme

olarak tarif edilen durumun olmasına da neden olabilmektedir.

Elde edilen karışımların Birim Hacim Ağırlık (BHA), Basınç Dayanımı ve Kapiler Su Emme özelliklerinin standartlarda (TS EN 1015-10, TS EN 1015-11 ve TS EN 1015-18) belirtildiği şekilde test edilebilmesi için 5x5x5 cm ve 10x10x10 cm'lik ahşap kalıplar kullanılmıştır.

Yöntem

Hafif Blok elde etmek amacıyla 0-2 ve 2-4 mm boyutlarındaki agregalar ağırlıkça %60 ve %40 oranlarında karıştırılmıştır. %1 oranında genleştirilmiş perlit ilave edilmiştir. 2 farklı seri oluşturulacak şekilde karıştırılmıştır. 1 seride %60 0-2 mm agrega ile %40 2-4 mm agrega, 2 seride %40 0-2 mm agrega ile %60 2-4 mm agrega karıştırılmıştır (Tablo 5 ve 6). Karışımlarda %28-38 oranında çimento ilave edilerek 6 farklı reçete hazırlanmıştır.

Tablo 5. Hafif blok 1. Seri karışım oranları

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Bileşenler						
			Ağırlık (%)			
0-2mm %60	42,6	41,4	40,2	39	37,8	36,6
2-4mm %40	28,4	27,6	26,8	26	25,2	24,4
P. ÇİMENTO	28	30	32	34	36	38
G. Perlit	1	1	1	1	1	1
Toplam	100	100	100	100	100	100

Tablo 6. Hafif beton 2. Seri karışım oranları

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Bileşenler						
			Ağırlık (%)			
0-2mm %40	42,6	41,4	40,2	39	37,8	36,6
2-4mm %60	28,4	27,6	26,8	26	25,2	24,4
P. ÇİMENTO	28	30	32	34	36	38
G. Perlit	1	1	1	1	1	1
Toplam	100	100	100	100	100	100

Hafif blok numunelerinde hesaplamalar sonucu su-çimento oranı belirlenerek farklı karışımlar elde edilmiş, 5x5x5 cm ve 10x10x10 cm ebatlarındaki kalıplara dökülmüş kalıp yüzeyleri mala ile düzeltilmiştir. Numunelerin yapışmaması için yağlanan kalıplarda 24 saat bekletilen numuneler, dikkatli bir şekilde çıkartılmıştır (Şekil 3). Kalıplardan çıkarılan numuneler 7, 14 ve 21 günlük kür süreleri için laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında bekletilmiştir. Elde edilen hafif betonların birim hacim ağırlık [23] (TS EN 1015-10), kapiler su emme [24] (TS EN 1015-18) ve basınç dayanım testleri [25] (TS EN 1015-11) ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 4 adet numune kullanılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.

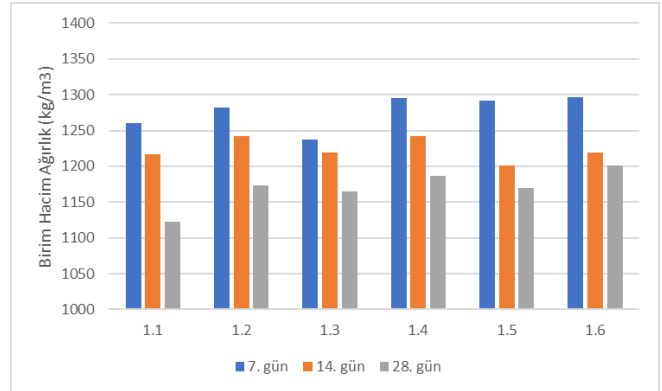


Şekil 5. Farklı tane boyutu ve çimento miktarlarında üretilen hafif blok numuneleri

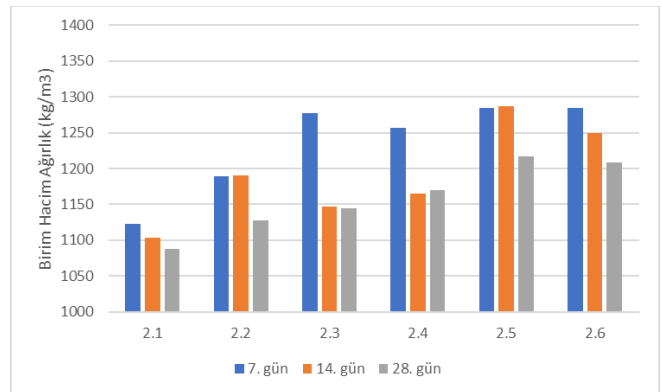
Sonuçlar

Birim Hacim Ağırlık

Farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif blok numunelerinin SBB 1 ve SBB 2 seri için 7, 14 ve 21 günlük kür süresinden sonra oluşan birim hacim değerleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Hafif blok 1. Seri karışımlarından elde edilen numunelerin BHA değişimi



Şekil 7. Hafif blok 2. Seri karışımlarından elde edilen numunelerin BHA değişimi

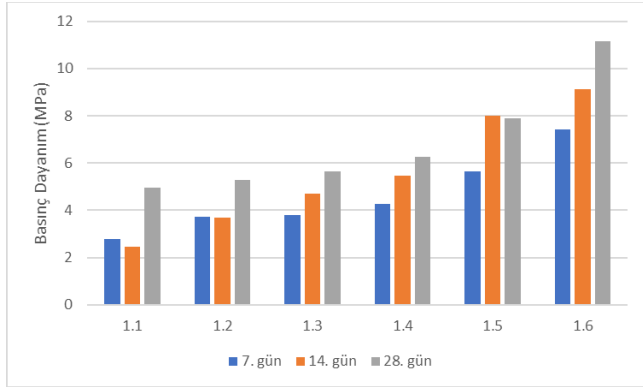
Hafif blok elemanlarının BHA değerlendirmesi, blok elemanlarının etüv kuru durumunda bürüt kuru birim ağırlık ve net kuru birim hacim ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Hafif blok numunelerine TS EN 1015-10 standardına uygun

olarak BHA testleri uygulanmıştır. Artan çimento miktarı elde edilen hafif blokların BHA değerlerinde düzenli bir artışın olmadığı, belirli oranlarda dalgalanmaların olduğu belirlenmiştir. 1 serisinde kullanılan 0-2 mm tane boyutundaki malzeme miktarı daha fazla olması, BHA değerlerinin 2 serisine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 1 serisinde kür süresi arttıkça tüm çimento oranlarında BHA'da belirgin bir azalma söz konusudur. Çimento oranı artışına bağlı olarak 1 serisinde sadece %32 çimento oranında tüm kür sürelerinde BHA değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenirken, diğer çimento oranlarında düzenli bir değişim meydana geldiği görülmüştür. 7 günlük kür süresinde BHA değerleri 1260-1296 kg/m³ arasında iken 14 günlük kür süresinde 1217-1219 kg/m³, 28 günlük kür süresinde 1122-1201 kg/m³ değerleri arasında kaldığı, çimento oranı artışı BHA değerlerinde sınırlı seviyelerde artışa neden olmuştur. 2 serisinde kullanılan 2-4 mm iri boyutlu malzeme miktarı BHA değerlerinde göreceli olarak daha düşük değerlerin elde edilmesine neden olmuştur. 7 günlük kür süresinde 1120-1284 kg/m³, 14 günlük kür süresinde 1103-1249 kg/m³, 28 günlük kür süresinde ise 1088-1208 kg/m³ arasında değerler elde edilmiştir.

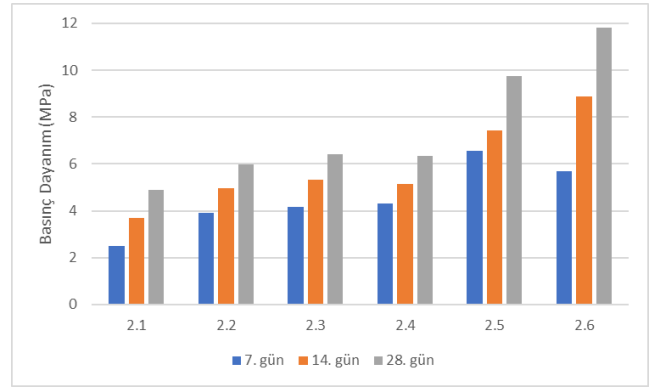
Hafif blok numunelerinin BHA değerleri karşılaştırıldığında hafif yapı malzemesi için gerekli olan <2000 kg/m³ değerinden oldukça düşük BHA'lar elde edilmiştir. Hafif blok numunelerine ilave edilen genişletilmiş perlit BHA değerlerinde belirgin bir azalmanın meydana gelmesine neden olmuştur.

Basınç Dayanım

Farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif blok numunelerinin 1 ve 2 serileri için 7, 14 ve 21 günlük kür süresinden sonra oluşan basınç dayanım değerleri Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Hafif blok 1. Seri karışımlarından elde edilen numunelerin basınç dayanım değişimi



Şekil 9. Hafif blok 2. Seri karışımlarından elde edilen numunelerin basınç dayanım değişimi

Hafif blok üretiminde hem çimento miktarındaki artış hem de kür süresindeki artış, basınç dayanım değerlerinden düzenli bir artışın meydana gelmesine neden olmuştur. Hafif blok üretiminde kullanılan hafif agregaların artan çimento miktarına göre değişiminde ilave edilen genişletilmiş perlit, basınç dayanımları üzerinde önemli etkiler ortaya çıkarmaktadır. Genleştirilmiş perlit ilavesi BHA değerlerinde olumlu etkiler gösterirken, basınç dayanım değerlerinin belirgin bir şekilde azalmasına neden olmaktadır. 1 serisinde 7 günlük kür süresinde 2,79-7,43 MPa, 14 günlük kür süresinde 2,47-9,11 MPa ve 28 günlük kür süresinde 4,96-11,16 MPa arasında basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. 2 serisinde 7 günlük kür süresinde 2,48-5,67 MPa, 14 günlük kür süresinde 3,71-8,86 MPa ve 28 günlük kür süresinde 4,9-11,80 MPa aralığında basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. İnce taneli agrega miktarının 1 serisinde daha fazla olmasına rağmen elde edilen basınç dayanımlarında da belirgin azalma olması dikkat çekicidir, bu durumun genişletilmiş perlitte kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kapiler Su Emme

Yapı malzemelerinin içine giren su, yapı malzemesinin nem ile birlikte ısı dengesinin de bozulmasına, büzülme ve şişme gibi hacimsel deformasyonlara neden olmaktadır. Oluşan bu deformasyonlar zamanla malzeme bünyesinde mikro çatlakların oluşmasına akabinde ise bu çatlaklardan daha fazla suyun girerek hareket etmesine neden olmaktadır. Yapı malzemesi içerisine doğrudan veya dolaylı olarak giren su, yapılarda hasarlara, küflenmeye ve yüzey bozulmalarına neden olmaktadır [26]. Son olarak farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif blok numunelerinin 1 ve 2 serileri için kapiler su emme değerleri ilgili standartta belirtildiği (TS EN 1015-18) gibi sadece 28 günlük kür süresinde bekletilmiş numunelere yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 7. 1 serisi hafif blok numunelerinin kapiler su emme test sonuçları

Numune No	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
1.1	0,99
1.2	1,08
1.3	1,02
1.4	1,12
1.5	1,15
1.6	1,19

Tablo 8. 2 serisi hafif blok numunelerinin kapiler su emme test sonuçları

Numune No	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	0,98
2.2	0,98
2.3	1,17
2.4	1,12
2.5	1,03
2.6	1,11

Hafif blok numunelerinin artan çimento miktarına bağlı olarak kapiler su emme değerleri incelendiğinde, çimento miktarındaki artış çok azda olsa kapiler su emme değerlerinde bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum hafif blok üretilmesi sırasında kullanılan genişletilmiş perlitin blok dış yüzeyi ile iç yüzeyi arasındaki bağlantının çok sınırlı seviyelerde kalmasından ileri gelmektedir.

Tartışma

Elde edilen sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde hafif blok üretimden elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde artan çimento miktarı BHA değerlerinde sürekli olarak bir artışın meydana gelmesine neden olurken, basınç dayanım değerlerinde de belirgin bir artış elde edilmiştir. Literatürden farklı olarak artan çimento miktarında çok az da olsa su emme oranlarında bir artışın olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş perlit elde edilen hafif blok numunelerinin özellikleri üzerinde belirgin bir etki ettiği görülmektedir.

Tablo 9. 2 seri hafif blok numunelerin 28 günlük kür süresindeki test sonuçları

Numune No	28. Gün BHA (kg/m ³)	28. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	1088,04	4,90	0,98
2.2	1127,78	5,98	0,98
2.3	1144,15	6,40	1,17
2.4	1169,3	6,34	1,12
2.5	1217,11	9,34	1,03
2.6	1208,58	11,80	1,11

Hafif blok numunelerinin hafif yapı malzemesi olabilmesi için gerekli olan 2000 kg/m³ birim hacim ağırlık değerinin çok altında değerler elde edilmiş, TS EN 13055 standardında belirtilen 1100 kg/m³ değerine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Volkanik tüf numunelerinin sıkışma özelliğinin yüksek olması [4], ve genişletilmiş perlit kullanımı bu sınır değer üstüne çıkılma sebebi sayılabilir. Basınç dayanım değerleri standartlarda >5 MPa'dan büyük olması gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen ürünlerin basınç dayanım değerleri incelendiğinden sadece 1.1 numunesinin 5MPa dan daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer tüm karışımlar standartlarda belirtilen değerleri karşılamaktadır. Son olarak üretilen hafif yapı malzemelerinin kapiler su emme oranlarının oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, Çanakkale-Ayvacı yöresine ait volkanik tüf agregası hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirdiği belirlenmiştir. Yöre hammaddeleri üzerinde daha geniş kapsamlı çalışmaların yapılması, yöre hammaddelerinin ülke ekonomisine kazandırılması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma Çanakkale-Ayvacı volkanik tüf agregasının hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı ilk çalışma niteliğindedir. Başka araştırmacıların yöre ile ilgilenmesinin önünün açılması açısından da önemlidir.

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

Yazarların katkıları

Kılıçaltan, Çalışma konsepti ve tasarım, Veri toplama

Demir, Çalışma konsepti ve tasarım, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması, Revizyon

Kaynaklar

- [1] O. Ünal, T. Uygunoğlu, “Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması” İMO Teknik Dergi, 4025 - 4034, Yazı 266, 2007
- [2] A. G. Çelik, A. M. Kılıç, F. Akkurt, “Yapı Malzemesi Üretiminde Genleştirilmiş Perlit Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 3, 451-458, 2014
- [3] S. Subaşı, “Genleştirilmiş Kil Agregası İle Taşyıcı Hafif Beton Üretimi” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 559-567, 2009
- [4] M. Kozak, O. Ünal, “Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 2, 17-30, 2010,
- [5] A. Beycioğlu, C. Başyigit, Ş. Kılıncarslan, “Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-2,200-205, 2010
- [6] Ş. Kılıncarslan, M. Davraz, M. Akça, “Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin Araştırılması” Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(1), 148-153, 2018
- [7] V. Akyüncü, “Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin Ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi” Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 147-157, 2019
- [8] O. Geçten, R. Gül, “Hafif Ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötme Ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri” TÜBAV Bilim 12 (3), 20-31, 2019,

- [9] Ş. Fidan, H. Oktay, S. Polat, “Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi” Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 2020
- [10] M. Davraz, E. Başpınar, “Agrega Porozitesinin Hafif Betonların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi” SDU International Technological Science, Vol. 3, No 3, pp 35-51, 2011
- [11] A. Biçer, “Make Use of Volcanic Slag as Aggregate in the Production of Concrete” Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2(2), 337-347, 2020
- [12] H. Ceylan, M. S. Saraç, “Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3,413-421, 2006,
- [13] G. Serin, O. Çankıran, C. Başyigit, H. H. Taş, M. Fenkli, “Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1) 15 - 22 2007,
- [14] A. Saruşık, G. Saruşık, “Yeni Üretim Prosesi İle Pomza Agregalı Hafif Beton Ve Eps Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi, Standartlara Uygunluğu Diğer Duvar Yapı Elemanları İle Karşılaştırılması” Madencilik, Cilt 49, Sayı 2, Sayfa 27-39, 2010,
- [15] H. Tatlıdil, E. Sancak, “Pomza Agregalı Hafif Betonların Panel Duvar Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” SDU International Technologic Science, Vol. 5, No 2, pp. 87-94, 2013
- [16] A. Bilgil, H. Özdel, “Pomza Esaslı Ve İgnimbirit Katkılı Hafif Yapı Malzemesinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 475-482, 2017,
- [17] N. Şapçı, L. Gündüz, F. Yağmurlu, “Aksaray İgnimbritlerinin Doğal Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği Ve Hafif Formda Boşluklu Duvar Blok Elemanlarının Üretiminde Değerlendirilmesi” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 20, Sayı 3, 2014, Sayfalar 63-69 2014
- [18] H. S. Gökçe, O. Şimşek, G. Durmuş, İ. Demir, “Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi” Politeknik Dergisi, Cilt:13, Sayı: 2, s. 159-163, 2010
- [19] S. Şahin, S. Karaman, “The Properties of Expanded Polystyrene - Pumice - Gypsum Blocks as a Building Material” Journal of Tekirdag Agricultural Faculty , vol 9, (1), 2012
- [20] C. Yolcu, Z. C. Girgin, “Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları Ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği” Aurum Mühendislik Sistemleri Ve Mimarlık Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, 2017
- [21] G. Daloğlu, “Eskişehir-Derbent Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Değerlendirilebilirliği”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008
- [22] O. Deniz, A. Baba, G. Tarcan, “Çan Jeotermal Alanı'nın Hidrojeokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi” Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 53, Sayı 2-3, 2010
- [23] TS EN 1015-10, Birim Hacim Ağırlık
- [24] TS EN 1015-18, Kapiler Su Emme
- [25] TS EN 1015-11, Basınç Dayanım
- [26] A. Özdemir, “Bazı Yapı Malzemelerinin Kapiler Su Emme Potansiyelleri” Jeoloji Mühendisliği, vol 26, no:1, 2002

Tarihi yapılarda Tahribatsız Yöntemlerle Yapısal Sorunların Tespiti; Diyarbakır Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide Georadar (GPR) Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

*Detection of structural problems in historical buildings with non-destructive methods;
Georadar (GPR) measurements and evaluation in Diyarbakir Hodja Ahmet (Ayn
Minaret) mosque*

Nursen IŞIK^{1*}, Fatma Meral HALİFEOĞLU²

¹ Dicle Üniversitesi Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, isik@dicle.edu.tr. Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-6125-1896>

² Dicle Üniversitesi Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, mhalife@dicle.edu.tr. Orcid No: <https://orcid.org/0000-0003-2032-3774>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 13.07.2021

Düzeltilme: 27.07.2021

Kabul: 24.11.2021

Anahtar kelimeler:

Diyarbakır, Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami, Georadar, Yapısal Sorun

Doi: 10.24012/dumf.1051475

ÖZET

Diyarbakır Suriçi Bölgesi kentin tarihi yapı stokunun yer aldığı bir yerleşim merkezidir. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami, Suriçi bölgesinin batısında yer almaktadır. Özel vakıf mülkiyetinde bulunan camide, günümüze kadar kapsamlı restorasyon ve onarım çalışması yapılmamış olup, farklı yapısal sorunlar bulunmaktadır. Bununla beraber cemaatin yapmış olduğu niteliksiz ve basit müdahaleler nedeniyle yapısal sorunlar artmış, bu sorunlar geçici çözümlerle giderilmeye çalışılmıştır. Camide ölçüm öncesi mevcut sorunlar gözlemsel olarak fotoğraflarla belgelenerek kayıt altına alınmıştır. Cami duvarlarında aks kayması, kısmi çatlaklar ile zeminde kot düzensizlikleri olduğu ve bu sorunların caminin sekizgen formlu minaresinde bulunduğu görülmüştür. Kasım 2020 yılında jeofizik uzmanları tarafından georadar (GPR) ölçümleri yapılarak, camideki yapısal sorunlar araştırılmıştır. Bu ölçümlerde yeraltı boşluğu/boşlukları kaynağı/kaynaklarının, zemin/duvarda meydana gelen deformasyonlar ve zemin altı yüzey kırıklarının boyutları, geometrik davranış biçimleri ve zemin/yapı stratigrafik değişimlerinin tespiti amacıyla jeofizik etütleri yapılmıştır. Elde edilen radargram¹ görüntüleri bilgisayar ortamında filtrelenerek, mevcut sorunlar (çatak, kırık, boşluk, çökme vb.) plan üzerine işaretlenmiştir. İnceleme alanı boyunca zeminde boşluk, çökme, göçük deformasyonları, duvarlarda kırık ve çatlak hasarları gibi birçok anomali yapısı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami’de yapılan tespitlerle, bu ve benzer durumdaki tarihi yapılarda gerçekleştirilecek restorasyon, onarım ve güçlendirme uygulamalarına katkı sağlayacak öneriler sunulmuştur.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13.07.2021

Revised: 27.07.2021

Accepted: 24.11.2021

Keywords:

Diyarbakır, Hodja Ahmet (Ayn Minaret) Mosque, Georadar, Structural Problems.

ABSTRACT

Diyarbakır Suriçi Region is an important settlement center where the historical building stock of the city is located. Hodja Ahmet (Ayn Minaret) mosque is one of the historical mosques located in the south-west of the Suriçi Region. The mosque, which is owned by a private foundation, has not undergone extensive restoration and repair work until today, and it has structural problems. Hodja Ahmet (Ayn Minaret) structural problems have increased due to the unqualified and simple interventions of the congregation in the mosque, and these problems have been tried to be solved with temporary solutions. Before the measurements were made in the mosque, field studies were carried out, existing problems were determined observationally, documented with photographs, and recorded. It has been observed that there are axis shifts, partial cracks and level irregularities on the floor of the mosque walls and that these problems are also present in the octagonal minaret of the mosque. The radargram images obtained as a result of the measurements were filtered in the computer environment and the existing problems (cracks, fractures, gaps, collapses, etc.) were marked on the plan. During the measurements, the work area was divided into different locations and GPR sections were taken in the form of line / profile at these locations. The penetration depths are set to be different in each location, 4.00 meters on the walls and 20 meters on the ground. Throughout the study area, many anomaly structures such as voids, collapse, dent deformations on the ground, fractures and crack damages on the walls have been detected.

As a result of the measurements made, with the determinations made using Hodja Ahmet (Ayn Minaret) Georadar, suggestions that will contribute to the restoration, repair and strengthening applications to be carried out in this mosque and historical structures in similar conditions were presented.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Nursen IŞIK

✉ isik@dicle.edu.tr

Giriş

Tarihi yapılar, buldukları kentlerin sosyal ve kültürel gelişimine katkı sunan mimari miraslarıdır. Kentlerin tarihi dokusu, genellikle kale, cami, kilise, geleneksel ev, han, hamam, köprü vb. birçok anıtsal ve geleneksel yapı türlerinden oluşmaktadır.

Diyarbakır Suriçi Bölgesi kentin tarihi yapıların yer aldığı sosyal ve kültürel yaşamın aktif olarak sürdürüldüğü canlı bir yerleşim merkezidir.

Suriçi Bölgesinde günümüze ulaşan farklı dönemlerde inşa edilmiş (7yy-16 yy) birçok cami bulunmaktadır. Bölgenin kuzeybatısında beşinci haremî şerif olarak kabul edilen Ulu Cami ile Nebi Cami, İskender Paşa Cami, Melik Ahmet Paşa Cami, kuzeyde Hz. Süleyman Cami, kuzeydoğusunda, Nasuh Paşa Cami, Fatih Paşa (Kurşunlu Cami), güneyde Şeyh Mutahhar Cami ve Dört ayaklı Minare, Hüsrev Paşa Cami, güneybatıda Behram Paşa Cami, Lala Kasım Paşa (Lale Bey) Cami, Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami bunu oluşturan en önemli yapılarıdır. Birçoğu ibadete açık camilerin bazılarında zaman içinde oluşan yapısal sorunları kısmi restorasyon çalışmalarıyla giderilmiştir. Ancak, kamu mülkiyetinde olmayan camilerde ise bu sorunlar cemaat ya da hayırseverler tarafından basit müdahalelere ve uzman görüşüne dayanmayan çözümlerle giderilmeye çalışılmıştır.

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami özel vakıf (*Hoca Ahmed Cami-i Şerifi Vakfı*)¹ mülkiyetinde olup, yapısal sorunları ile varlığını sürdürmeye çalışmaktadır.

Tarihi yapılarıdaki yapısal sorunların belirlenmesi amacıyla son yıllarda tahribatsız ölçüm yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Georadar (GPR) yöntemi, yapıya zarar vermeyen, zemin ve duvarlarda dıştan görünmeyen hasarların tespitinde kullanılan tahribatsız uygulanan jeofizik yöntemlerinden biridir.

Özellikle tarihi yapılarda tahribatsız yöntemlerinden biri olan georadar uygulaması gerek zeminde ve gerekse tüm yapı özelinde hasarların belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yapıların duvar ve zeminlerindeki hasar ve bozulmalar tahribatsız görüntüleme teknikleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Yüksek çözünürlüklü ekipman, veri toplama, işleme ve modelleme tekniklerinin geliştirilmesi, jeofizik yöntemlerin uygulama kapsamını artırmıştır [2].

Bu çalışmada, Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide mevcut yapısal sorunlar görsel analizlerle incelenip, aletsel ölçümlerle desteklenmiştir. Dıştan gözlemlenemeyen (çatlak, kırık, çökme, vb.) hasarların georadar (GPR) ölçümleriyle zemin ve duvar taramaları yapılmıştır. Cami çevresinde birçok yapının bulunması nedeniyle georadar (GPR) taramalarında farklı profil boyutları seçilerek ölçümler yapılmıştır.

Uzman jeofizik mühendisleri tarafından yapılan ölçümler ve taramalar sonucunda radargramlar çıkartılarak, yapısal sorunların neden olduğu deformasyon bölgeleri kayıt altına alınmıştır

Georadar (GPR) taramalarının yapıldığı Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide duvarlarda aks kayması, çatlak, kırık, zeminde çökme, zemin suyuna bağlı boşalmalar belirlenmiştir.

Georadar (GPR) ölçümleri sonucu tespit edilen sorunlara yönelik öneriler sunulurken, çalışma tamamlanmıştır.

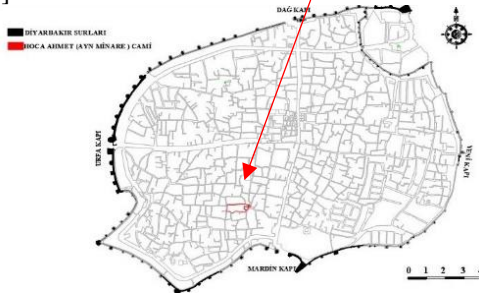
Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami'nin Suriçi Bölgesindeki konumu ve mimari özellikleri

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami, Suriçi Bölgesinin güneybatısında, Ali Paşa Mahallesi'nde yer almaktadır. Yapının kuzey yönünde Binici Sokak ile doğu yönünde Ilgaz Sokaktan sağlanan iki girişi bulunmaktadır (Şekil 1, Şekil 2).

¹ Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi, Akmaz, 2019



Şekil 1. Türkiye ve Diyarbakır'ın Konumları [URL 1, URL 2]



Şekil 2. Hoca Ahmet Paşa Caminin Surçi Bölgesindeki konumu [3]

Kaynaklara göre 1498 yılında inşa edilen yapı harim, son cemaat yeri, avluda betonarme sekizgen şadırvan, gasilhane, hela, depo ve gövdesi sekizgen formlu minareden oluşmaktadır [4] [5] (Şekil 3).

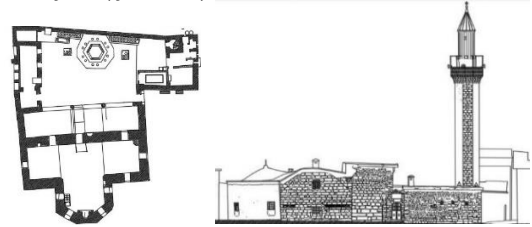


Şekil 3. Hoca Ahmet Paşa Camii minareden görünümü ve kuzey cephesi (2021)

Caminin avlusuna Ilgaz sokaktan girilmektedir. Yığma yapı tekniğiyle inşa edilen cami ters T plan düzenindedir. Camide ana yapı malzemesi

olarak bazalt taş kullanılmıştır. Caminin kuzey doğusunda gasilhane, hela, depo ve minare bulunmaktadır.

Avluya bakan kuzey cephesinde bulunan üç adet sivri kemerli sütunlarla taşıtılan son cemaat yeri, metal doğramalarla kapatılmıştır. Caminin harim doğu batı doğrultusunda beşik tonozla geçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camii Plan ve Doğu Cephesi [6]

Daha önce tonoz örtülü olduğu kaynaklarda² belirtilen son cemaat yerinde, üst örtü betonarme olarak değiştirilmiştir. Son cemaat yerindeki kemerlerin bir ucu duvara sabitlenmiş gergi çubukları bulunmaktadır. Son cemaat yerine avlu kotundan düz girilmekte olup, girişin doğu ve batı yönündeki zemini yaklaşık 30 cm'lik zemini şap döşeme ile yükseltilmiştir. Son cemaat yerinden alçak bir kapıyla harime girilmektedir.

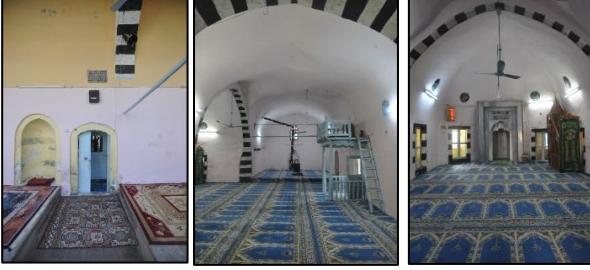
Harim, üç bölüme ayrılmakta olup, girişin karşısında yarım sekizgen formlu mihrap yer almaktadır. Harimin doğu ve batı zemin döşemesi yükseltilmiş, üst örtüsünde beşik ve çapraz tonoz birleştirilmiştir.

Harimin doğusundaki bölüm, sivri kemer ve beşik tonozla geçilmiştir. Bu bölümde yuvarlak, batı bölümünde ise sivri kemerler içerisinde dikdörtgen pencereler yer almaktadır. Mihrabın köşe duvarlarında düz lentolu dörtgen formlu pencereler bulunmaktadır. Pencerelerin altlarında nişler vardır.

Harim duvarlarının tümü sıva ile kapatılmıştır. Harim döşemesinin yükseltilmesi ile pencereler

² E. Akmaz, Bilgiç. "Diyarbakır Hoca Ahmed (Ayni Minare) Camii Restorasyon Önerisi" Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Diyarbakır. 2019.

zeminden yaklaşık 15 cm yükseklikte kalmıştır. Mihrabın bulunduğu bölüm, sivri kemerle üst örtüsü, çapraz tonoz ve beşik tonozla geçilmiştir. Harim zemininde kot düzensizlikleri bulunmakta olup, döşeme halı ile kaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harimin girişi ve iç alanlar (2021)

Hoca Ahmet (Ayn Minare) camide tespit edilen yapısal sorunlar

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami Suriçi Bölgesinin güney batı diliminde yer almakta olup, günümüzde aktif olarak kullanılmaktadır. **Hoca Ahmed Cami-i Şerifi Vakfı** mülkiyetine ait camide günümüze kadar kapsamlı onarım ve restorasyon yapılmamıştır.

Yığma yapım tekniğiyle inşa edilmiş yapıya zaman içinde basit ve niteliksiz müdahaleler yapılarak, kısmi olarak yapım sistemi değiştirilmiştir. Beşik tonozlu ve çapraz tonozla birleşimi sağlanan üst örtünün tümü beton malzemeyle kapatılarak yapıda düzensiz yük aktarımları oluşmuştur. Bazalt taş malzemeyle yapılmış bingi taşlarının bulunduğu son cemaat yerinin üst örtüsü, harim üst örtüsünün devamı olarak betonarme malzeme ile değiştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide son cemaat yerinde silme üstlerine eklenen beton döşeme

Son cemaat yerinin üst örtüsünün beton malzeme ile değiştirilmesi ile cephe duvarlarında kısmen ayrışma ve harç kayıpları oluşmuştur. Ayrıca yalıtımın eksik ve yetersiz kaldığı üst örtüden

kaynaklanan nem problemleri bulunmaktadır. Bu sorun harim bölümünün tümünde devam etmektedir. Sıva ve boyalı harim ve son cemaat yeri duvarlarında nemlenmeye bağlı kabarmalar mevcuttur.

Harimin doğu ve batı bölümlerindeki zeminlerde, oturmalara bağlı olduğu düşünülen ve sonradan yükseltilmiş döşemede kısmi kot düzensizlikleri bulunmaktadır.

Harimin güneyindeki iç ve dış duvarlarında aks kayması mevcuttur. Aks kaymasının bulunduğu duvarların bulunduğu zeminde, yer yer çökmeler olduğu görülmüştür. Ayrıca sokak cephe duvarlarında, harç kaybına bağlı ayrışmalar mevcut olup, daha çok pencere kenarlarında yoğunlaşmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Hoca Ahmet Cami güney cephe duvarında, aks kayması, harç kaybı ve ayrışma hasarları

Caminin kuzeydoğusunda bulunan hela, depo, bölümleri sonradan tuğla ve betonarme malzeme kullanılarak tümüyle değiştirilmiştir. Bu bölümlerde, ıslak hacimlerden kaynaklanan yalıtım ve nem problemleri bulunmaktadır.

Caminin kuzeydoğusunda bulunan, gövdesi bazalt taştan sekizgen formda yapılmış minarenin petek bölümünde harç kayıplarına bağlı ayrışmalar mevcuttur. Minarenin, tuğla malzeme ile tamamlanan külah bölümünde sıva kayıpları ve nem problemleri oluşmuştur. Ayrıca minarenin iç merdiven basamaklarında kırık ve çatlak şeklinde malzeme kayıpları olduğu görülmüştür (Şekil 8)

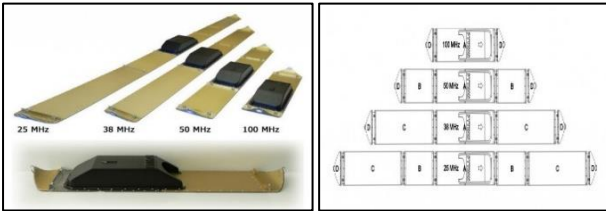


Şekil 8.Hoca Ahmet Cami minaresinde harç kaybı ve ayrılmaya bağlı oluşan yapısal sorunlar

Hoca Ahmet Camide yapılan georadar (GPR) ölçümleri ve değerlendirmeleri

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide yapısal sorunların tespiti için zemin ve duvarlarda georadar (GPR) taramaları yapılmıştır. Yapılan duvar ve zeminlerdeki georadar (GPR) taramalarında Python-3 GPR cihazı kullanılmıştır. Python-3 GPR, özellikle derin anketler (olumlu zeminde 65 metreye kadar) için kullanılan tek bir operatör tarafından taşınan bir taşınabilir dijital yeraltı radarıdır.

Georadar (GPR) ölçüm çalışmalarında veri işlem basamakları izlenerek, bu işlemler için Reflex W [6] (programı kullanılmıştır (Şekil 9)



Şekil 9.Zond Python 3 GPR Mhz merkez anteni ve 1.6 Ghz ve diğer açık antenlerinin şematik gösterimi [URL 3] [URL 4]

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide yapılan taramalarda, zemin yapısı, istif değişimleri, jeolojik yapı, yer altındaki boşluk durumları, zemin/duvarlarda muhtemel kırık, çatlakların boyutları ve geometrik davranış biçimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Camide yapılan alan çalışmasında, görsel araştırma ve aletsel tespitler yapılmıştır. Jeofizik uzmanları tarafından yapılan georadar taramalarında, jeolojik formasyonların durumu,

değişimi, çevre kayaların özellikleri ile elektromanyetik geçirgenliklerine göre sınıflandırmalar göz önünde bulundurulmuştur.

Georadar (GPR) taramalarının yapıldığı çalışma alanı, farklı lokasyonlara ayrılarak, bu lokasyonlarda hat/profil şeklinde GPR kesitleri alınmıştır. Penetrasyon³ derinlikleri her lokasyonda farklı olmak üzere en dar duvarda 2.00 metre, geniş duvarlarda 4.00 metre, zeminde en sığ 10 metre en derin 20 metre olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma boyunca 100 Mhz ve 1.8 Ghz anten kullanılmıştır.

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide, georadar (GPR) taramaları harim ve son cemaat yerinin cephe duvarları ile zemininde yapılmıştır. Ayrıca avlu, minare ve sokak cephesindeki zemin kot değişim nedenlerinin belirlendiği taramalar ile zeminin mevcut durumları ve yapısal sorunlar tespit edilmiştir.

Georadar ölçümlerinin yapıldığı bu çalışmada cami zemin ve duvarlarındaki muhtemel deformasyonların yerleri, boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Alan çalışmasında görsel olarak tespit edilen hasarlar, aletsel taramalar ile hasar düzeyleri ve konumları belirlenmiştir.

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami zeminde yapılan georadar (GPR) taramaları

Hoca Ahmet (Ayn Minare) caminin harim, son cemaat yeri, avlu ve ıslak hacimler ve minare zemininde ayrı taramalar yapılarak, zeminin mevcut durumları tespit edilmiştir.

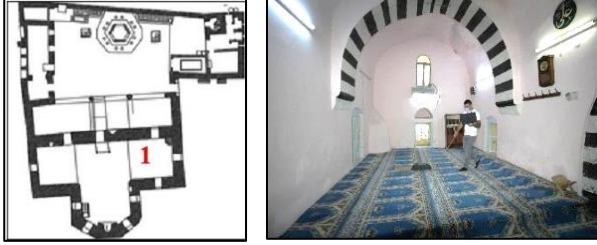
Georadar (GPR) 1 zemin taramaları

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harim bölümünün, doğu yönündeki zeminde 80.00 metre profil boyu ve 15.00 metre penetrasyon derinliği seçilerek taramalar yapılmıştır.

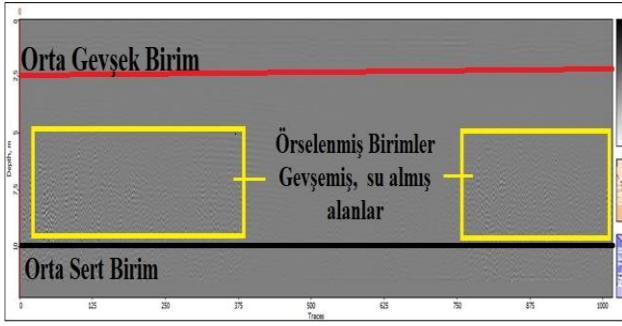
Elde edilen radargram kesitlerinde zeminin yaklaşık 2.50 metre kadar orta gevşek birim, 2.5–10.00 metreler arası orta sert formasyon olduğu

³ Penetrasyon derinliği, elektromanyetik radyasyonun nüfuz edebileceği bir malzemedeki derinliktir [URL 5]

iki farklı seviye tespit edilmiştir. Ayrıca 7.50 metreden sonra zeminde birtakım örselenmelerin olduğu, bu örselenmelerin zamanla gevşeyen zemin ve suya maruz kalan alanlardan kaynaklandığı yapılan hız analizleri⁴ sonucunda belirlenmiştir (Şekil 10, Şekil 11).



Şekil 10. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami hariminin doğu yönündeki zeminde yapılan georadar (GPR) taramaları ve konumları



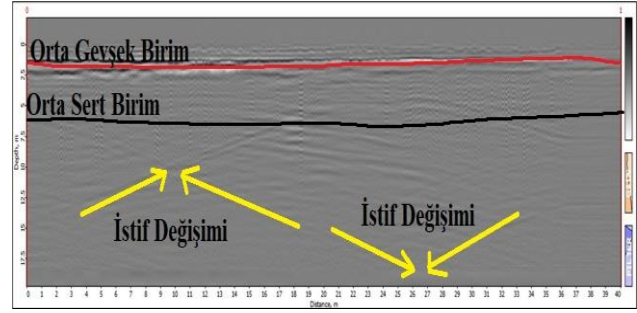
Şekil 11. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harim zeminindeki GPR 1 taramaları sonucu elde edilen radargram kesiti

Georadar (GPR) 2 zemin taramaları

Harimin orta bölümündeki zeminde 40.00 metre profil boyu ve 20.00 metre penetrasyon derinliği seçilen georadar (GPR) taramaları yapılmıştır. Elde edilen radargram kesitlerinde yaklaşık 3,00 metreye kadar orta gevşek formasyon, 3.00-7.50 metreler orta sert formasyon olduğu iki farklı seviye tespit edilmiştir. Yapılan taramalar sonucunda profil boyunca istif değişimleri dışında anomali yapısına rastlanmamıştır (Şekil 12, Şekil 13).



Şekil 12. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harim orta bölümünün zemindeki georadar (GPR) 2 taramaları ve konumları



Şekil 13. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harim zeminindeki GPR 2 taramalar sonucu elde edilen radargram kesiti

Georadar (GPR) 3 zemin taramaları

Harimin batı yönündeki zeminde yapılan georadar (GPR) taramalarında, 100 metre profil boyu, 15.00 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir. Zeminin yaklaşık 3.00 metre derinliğinde orta gevşek formasyon, 3.00-7.00 metre aralığında orta sert formasyon olduğu görülmüştür.

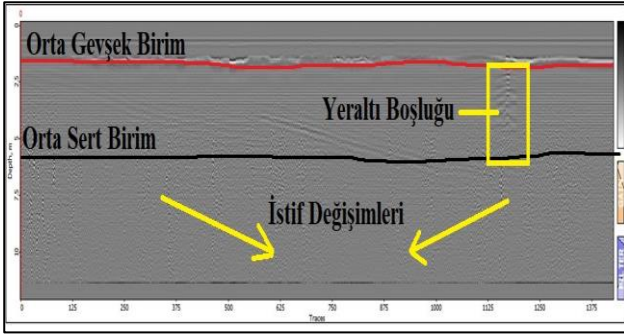
Zeminin yaklaşık 2.00-7.00 metre derinliğinde 11.25-12.50 traces aralığında, boşluk anomali yapısı tespit edilmiştir.

Taramalarda tespit edilen boşluk yapısı, yaklaşık 0.13ns/ cm değerindeki hız analizleriyle doğrulanmıştır. Stratigrafik değişim bölgeleri radargram kesitlerinde işaretlenmiştir. (Şekil 14, Şekil 15).

⁴Hız analizi: Derinliğin fonksiyonu olarak hızı kullanarak yer radarı verisinden hız analizi yapmak veri işlem tespitlerinden biridir [8]



Şekil 14.Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harimin batı bölümü zemindeki georadar (GPR) 3 taramaları ve konumları

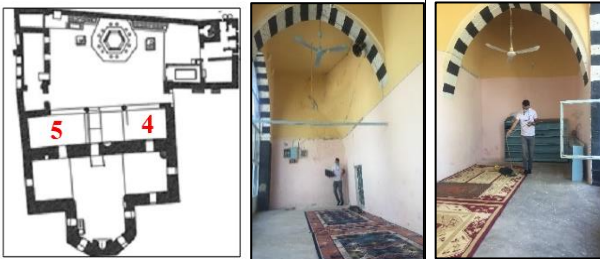


Şekil 15. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami harim zeminindeki GPR 3 tarama sonucu elde edilen radargram kesiti

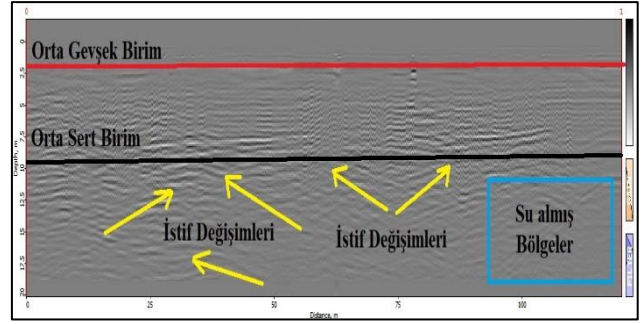
Georadar (GPR) 4 ve (GPR) 5 zemin taramaları

Harim ve son cemaat yeri zemininde yapılan georadar (GPR) taramalarında, 100.00 metre profil boyu ve 20.00 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir.

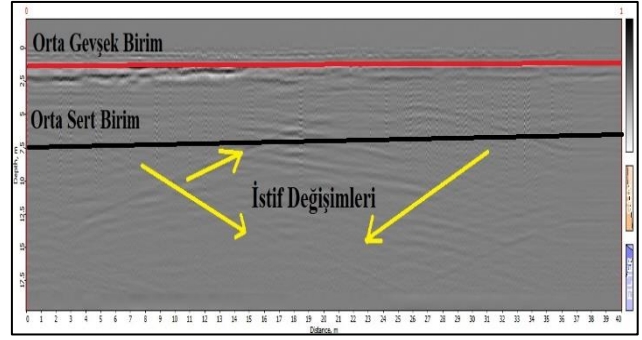
Zeminin yaklaşık 3,00 metre derinliğinde orta gevşek formasyon, 3.00-7.00 metre aralığında orta sert formasyon olduğu düşünülen katmanlar bulunmaktadır. İstif değişimlerinin belirlendiği zeminde suya bağlı deformasyonların olduğu bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 16, Şekil 17).



Şekil 16. Hoca Ahmet (Ayn Minare) cami son cemaat yeri doğu bölümü zemini GPR 4, GPR 5 taramaları ve konumları



GPR 4



GPR 5

Şekil 17. Hoca Ahmet (Ayn Minare) cami son cemaat yeri doğu bölümü zemini GPR 4- GPR 5 tarama sonucu elde edilen radargram kesiti

Georadar (GPR) 6- (GPR) 7- (GPR) 8 zemin taramaları

Avlu zemini, üç alana bölünerek ölçümler yapılmış, profil boyu 80 metre, penetrasyon derinliği 20 metre olarak seçilmiştir. Avlunun zemininde, 3.00 metreye kadar orta gevşek formasyon, 3.00 metre-7.00 metre aralığında orta sert formasyon belirlenmiştir.

Georadar taramaları sonucunda, elde edilen radargram kesitlerinde GPR 6 olarak belirlenen avlunun doğu bölümünde, saçılmalara bağlı dielektrik yapıların olduğu görülmüştür.

GPR 7 taramalarının yapıldığı avlu zemininde yaklaşık 7.50-14.00 metre derinlikte, su etkisiyle çökmelerin olduğu tespit edilmiştir.

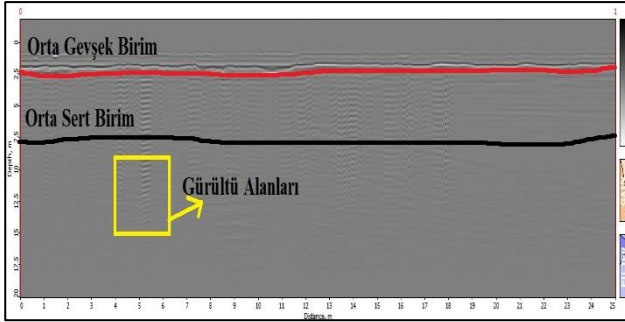
Cami avlusunda GPR 8 taramalarında kesit boyunca hâkim ve 12.50 metre derinlikte bir adet su tablasının⁵ olduğu, bu tablanın su kanalı özelliği taşıdığı yapılan hız analizleri ile

⁵Su tablası: Yer altı suyu seviyesi veya yer altı su tablası iki zone arasında atmosfer basıncı ile su basıncının eşit olduğu yüzeydir [URL 6]

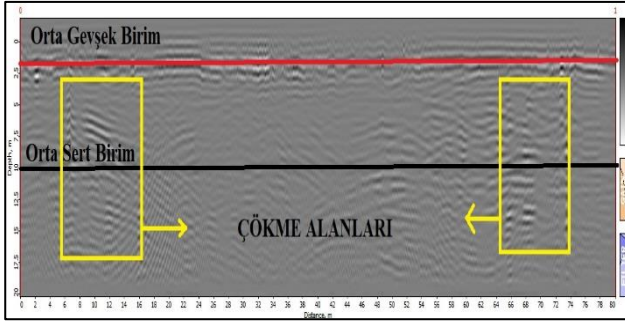
doğrulanmıştır. Hız analizleri 3,3 (cm/ns) olarak ölçülmüştür (Şekil 18, Şekil 19).



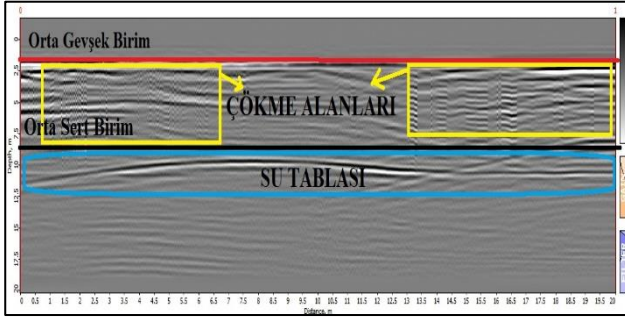
Şekil 18. Hoca Ahmet (Ayn Minare) camii avlu zemininde yapılan GPR 6- GPR 7- GPR 8 taramaları ve konumları



GPR 6



GPR 7



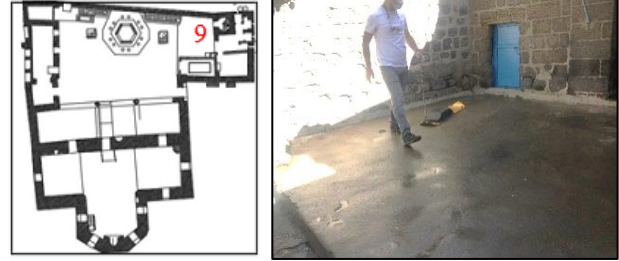
GPR 8

Şekil 19. Hoca Ahmet (Ayn Minare) camii avlu zemininde yapılan GPR 6- GPR 7- GPR 8 tarama sonucu elde edilen radargram kesitleri

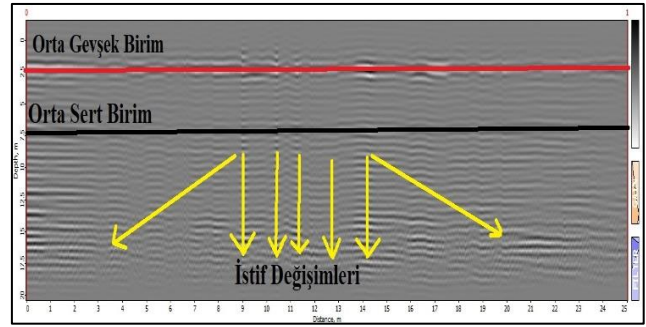
Georadar (GPR) 9 zemin taramaları

Caminin kuzeydoğusundaki, WC ve minarenin bulunduğu alanda yapılan georadar (GPR) taramalarında 25 metre profil boyu, 20 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir.

Islak hacimler (WC, depo vb.) ve minare çevresinde, caminin tümünde tespit edilen 3.00 metreye kadar orta gevşek formasyon, 3.00-7.00 metrede orta sert formasyon olmak üzere iki ayrı tabaka olduğu tespit edilmiştir. 12.5-17.5 metreler arasında istif değişimleri olduğu belirlenmiştir (Şekil 20, Şekil 21).



Şekil 20. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camii gashane ve minare zemininde yapılan GPR 9 taramaları ve konumları



Şekil 21. Hoca Ahmet (Ayn Minare) camii avlu zemininde yapılan GPR 9 tarama sonucu elde edilen radargram kesitleri

Georadar (GPR) 10 zemin taramaları

Harim bölümünün güney ve güneydoğu duvarında görsel olarak tespit edilen aks kaymasının nedeninin belirlenmesi amacıyla, İlgaz Sokak zemininde georadar (GPR) taramaları yapılmıştır. Yapılan georadar (GPR) taramalarında 30 metre profil boyu 20 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir.

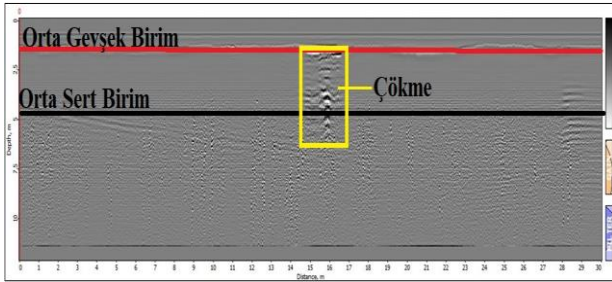
Taramalar sonucunda elde edilen radargram kesitlerinde, zeminin yaklaşık 14-17 metre aralığında boşluk anomalisi tespit edilmiştir. Bu yapının boşluk olduğu yapılan hız analizleri ile yaklaşık olarak 0.13 ns/cm değer ile doğrulanmıştır.

Cami harim duvarının, iç ve dış bölümlerinde görülen aks kaymasının, zemin taramalarında tespit edilen boşluğa bağlı olduğu görülmüştür.

Ayrıca bu bölümde, zeminde belirlenen su sızıntılarına bağlı çökmeler olduğu düşünülmektedir (Şekil 22, Şekil 23).



Şekil 22. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarının bulunduğu sokak zemininde yapılan GPR 10 taramaları ve konumları

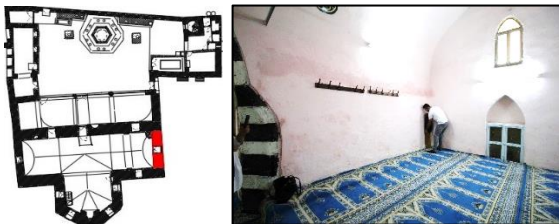


Şekil 23. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarının zemininde yapılan GPR 10 tarama sonucu elde edilen radargram kesitleri

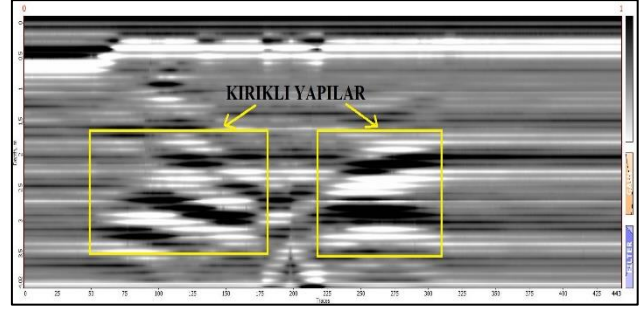
Georadar (GPR) 1 duvar taramaları ve konumları

Harimin doğu duvarında yapılan georadar (GPR) taramalarında 26.00 metre profil boyu ve 4.50 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir. Profilde elde edilen radargram kesitlerinde, duvarda kırık deformasyonları tespit edilmiştir.

Yaklaşık olarak 0.50-4.00 metre derinlikte ve 50.00 ile 300 traces aralığında kırıklı ve çatlaklı anomali yapılarının olduğu yapılan hız analizleri ile doğrulanmıştır (Hız analizleri data prosesleri anında bakılabilen parametreler olup, radargram kesitleri üzerinde görsel formatta gösterilemezler) [9] (Şekil 24, Şekil 25).



Şekil 24.Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim doğu duvarında yapılan GPR 1 taramaları ve konumları



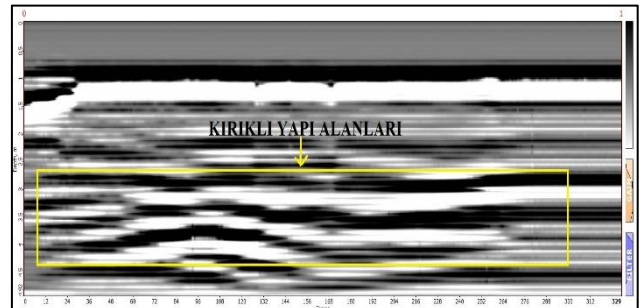
Şekil 25.Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim doğu duvarında yapılan GPR1 taramaları sonucu elde edilen radargram kesitleri

Georadar (GPR) 2 duvar taramaları ve konumları

Harim güney duvarının doğu yönünde yapılan georadar (GPR) taramalarında 15.00 metre profil boyu ve 4.00 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir. Profilde elde edilen radargram kesitinde duvarda çatlakların bulunduğu görülmüştür. Özellikle 1.50-2.00, derinlikte ve 3.50-4.00 metreler arasında kırıkların olduğu, bu kırıkların yapıda kullanılan bazalt taş içindeki muhtemel gaz boşlukları ile zeminde tespit edilen boşlukların (çökme) etkisiyle olduğu düşünülmektedir (Şekil 26, Şekil 27).



Şekil 26. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarının doğu yönündeki duvarında yapılan GPR 2 taramaları ve konumları



Şekil 27.Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarının doğu yönünde yapılan GPR 2 taramaları sonucu elde edilen radargram kesitleri

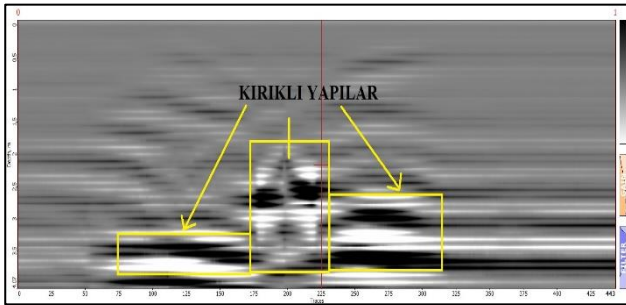
Georadar (GPR) 3 duvar taramaları ve konumları

Yarım sekizgen planlı mihrabın yer aldığı güney duvarında yapılan georadar (GPR) taramalarında 22.00 metre profil boyu ve 4.00 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir.

Profilde elde edilen radargram kesitlerinde yoğun kırık formları tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak 3.50-4.00 metre derinlikte ve 60.00 ile 240.00 traces aralığında kırıklı anomali yapısı olduğu, yapılan hız analizleri ile doğrulanmıştır (Şekil 28, Şekil 29).



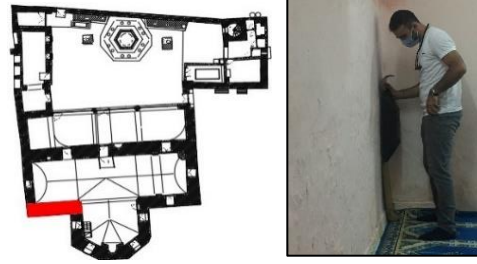
Şekil 28. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarında yapılan GPR 3 taramaları ve konumları



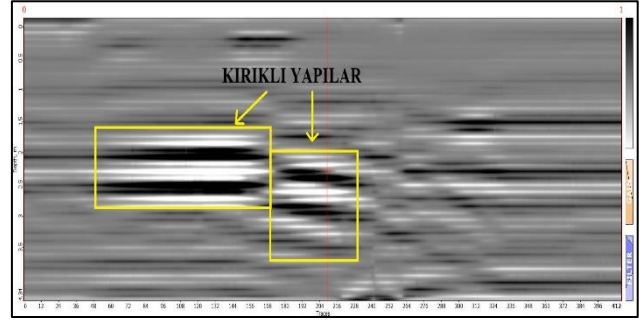
Şekil 29. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güney duvarında yapılan GPR 3 taramaları sonucu elde edilen radargram kesitleri

Georadar (GPR) 4 duvar taramaları ve konumları

Cami harim bölümünün güneybatı duvarında yapılan georadar (GPR) taramalarında, 14.00 metre profil boyu ve 4.00 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir. Profilde elde edilen radargram kesitlerinde duvarda kırık deformasyonları olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak 1.50- 2.00 metre derinlikte ve 60.00 ile 180 traces aralığında kırıklı ve çatlaklı anomali yapılarını olduğu yapılan hız analizleri ile doğrulanmıştır (Şekil 30, Şekil 31).



Şekil 30. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güneybatı duvarında yapılan GPR 4 taramaları ve konumları

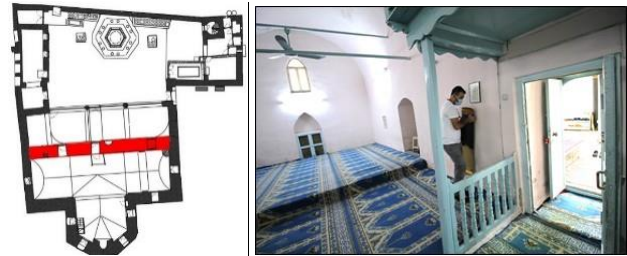


Şekil 31. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim güneybatı duvarında yapılan GPR 4 taramaları sonucu elde edilen radargram kesitleri

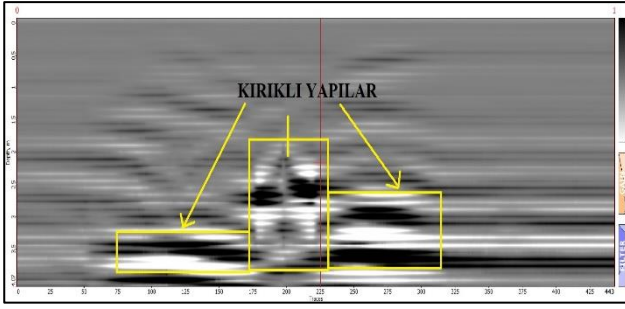
Georadar (GPR) 5 duvar taramaları ve konumları

Harim girişinin yer aldığı kuzey duvarında yapılan georadar (GPR) taramalarında 15 metre profil boyu 4 metre penetrasyon derinliği seçilmiştir.

Profilde elde edilen radargram kesitlerinde, duvar yüzeyinde yaklaşık 2.50-4.00 metre derinlikte ve 150.00-300.00 traces aralığında kırıklı ve çatlaklı anomali yapılarının olduğu yapılan hız analizleri ile doğrulanmıştır (Şekil 32, Şekil 33).



Şekil 32. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim kuzey duvarında yapılan GPR 5 taramaları ve konumları



Şekil 33. Hoca Ahmet (Ayn Minare) Cami aks kayması bulunan harim kuzey duvarında yapılan GPR 5 taramaları sonucu elde edilen radargram kesitleri

Sonuç ve Öneriler

Hoca Ahmet (Ayn Minare) camide meydana gelen yapısal sorunların görsel analizlerle tespiti sonrası tahribatsız yöntemlerden biri olan georadar (GPR) taramaları ile aletsel ölçümler yapılmıştır.

Alan çalışmasının yapıldığı bu çalışmada, Georadar (GPR) taramaları ile caminin zemininde çökme, duvarlarında çatlak ve kırıkların yerleri ve boyutları belirlenmiştir.

Camide yapılan alan çalışmasında görsel olarak tespit edilen hasarların zemin yapısına bağlı olduğu bu çalışma ile netleştirilmiştir.

Caminin zemin ve duvarlarındaki hasar ve düzeylerinin georadar (GPR) taramalarıyla tespit edilmesi, çalışmanın hedefine ulaşmasını sağlamıştır.

Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camide yapılan georadar (GPR) taramalarında, zemin için penetrasyon derinliği 20 metre, duvarlarda 4,00 metre alınmıştır. Taramalar sonucu elde edilen radargram kesitlerinde zeminde boşluk, su tablası, çökme, duvarlarda ise çatlak ve kırık olduğu belirlenerek, tüm deformasyonlar radargram kesitlerinde işaretlenmiştir.

Hoca Ahmet (Ayn Minare) camide tahribatsız yöntemlerden biri olan georadar (GPR) taramaları ile cami zemini ve duvarlarındaki hasar konumları ve düzeyleri belirlenmiştir.

Hoca Ahmet Cami avlusunda yapılan taramalarda, zeminde GPR 9 bölgesinde, yaklaşık olarak 12,50 metre derinlikte, 20,00 metre uzunluğunda bir adet su tablası olduğu ve su tablasının kısmi çökmelere yol açtığı görülmüştür. Tespit edilen bu yapının su kanalı ya da kanalizasyon şebekesine ait olduğu düşünülmektedir.

Camide ana malzeme olarak kullanılan bazalt taş malzemenin kullanıldığı duvarlarda, mevcut gaz boşluklarına bağlı çatlak, kırık deformasyonları olduğu tespit edilmiştir.

Caminin Ilgaz sokakta güneydoğu duvarında yapılan georadar (GPR)10 taramalarında 2,00 metre derinlikte ve 2,00 metre çapında bir adet boşluk anomalisi tespit edilmiştir. Taramalar sonucunda tespit edilen anomali nedeniyle caminin harim duvarının bulunduğu zeminde, zaman içinde suyun etkisiyle çökmeler, duvarlardaki aks kaymasının olduğu görülmüştür.

Caminin özel vakıf mülkiyetinde olması nedeniyle kapsamlı onarım veya restorasyonlarının yapılmaması, mevcut hasarların zaman içinde artmasına neden olmuştur. Bu nedenle Hoca Ahmet (Ayn Minare) cami ve benzeri yapıların mevcut hasarlarının ivedilikle giderilmesi için özel vakıf mülkiyetinden alınarak, kamulaştırılması sağlanmalıdır.

Caminin kapsamlı rölöve, restorasyon ve restitüsyon ile bilimsel ve akademik etkinliği olan uzmanlar tarafından önerilen güçlendirme uygulamalarını içeren projeler hazırlanmalıdır.

Camideki hasarların tahribatsız yöntemlerle tespitinin yanında uzmanlar tarafından belirlenen bölgelerde gözlem çukurları açılarak, zeminin fiziksel durumu tespit edilmelidir.

Zemin iyileştirme yöntemlerinin camide uygulanması ve aks kayması olan ve gerekli tüm duvarlar askıya alınarak, mevcut hasarlara yönelik güçlendirme uygulamaları yapılmalıdır.

Bu çalışma ile tarihi yapılardaki hasarların tespitinde tahribatsız yöntemlerin uygulanabilirliği ve güvenilirliği doğrulanmıştır. Bu nedenle tarihi yapılardaki hasarların tespiti aşamasında bu tür tahribatsız yöntemlerle araştırılması ve yaygınlaştırılması bu yapıların yaşatılması ile sürdürülebilirliğini arttıracaktır.

Yapılan alan çalışması sonrasında, Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camii mevcut hasarları görsel ve aletsel olarak tespit edilmiş, cami için rehber niteliğindeki öneriler sunularak çalışma tamamlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, 2019 yılında Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş olan Mimarlık 19.008 no'lu **“Diyarbakır Tarihi İskender Paşa ve Hoca Ahmet (Ayn Minare) Camilerinde Zemine Bağlı Oluşan Taşıyıcı Sistem Sorunlarının Georadar Yöntemi ile Tespit Edilmesi”** başlıklı araştırma projesi kapsamında üretilmiştir. Desteklerinden dolayı DÜBAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] B.B. Demirci, “Yer Radarı (GPR) Jeofizik Yöntemi ve Kullanıldığı Alanlar” MTA *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni* (14) pp.56. 2012.
- [2] C. Tareco, H. Grangeia, M. Varum, M. Senos. A high resolution GPR experiment to characterize the internal structure of a damaged adobe wall. *First Break*, 27(8):79-84. 2009.
- [3] Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi KAİP Planı Uygulama Hükümleri Raporu 2012.

[4] O. C. Tuncer, “Diyarbakır Camileri” *Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Yayınları* Diyarbakır.pp.145. 1996

[5] İ. Yılmazçelik, “XIX. Yüzyılın ilk yarısında Diyarbakır (1790-1840)”, *Türk Tarih Kurumu Yayınları*, Ankara. s:58. 1995.

[6] E. Akmaz, Bilgiç. “Diyarbakır Hoca Ahmed (Ayni Minare) Camii restorasyon önerisi” Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Diyarbakır. 2019.

[7] K.J., Sandmeier, “*Reflexw 4.2 Manuel Book*”. Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany, 2003

[8] E. Candansayar. “Yer Radarı (Ground Penetrating Radar – GPR)” *JFM409 Elektromanyetik yöntemler ders notu*. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü. Ankara.2019.

[9] A. Anaran, Hoca Ahmet (Ayn) Minare cami zemin duvar bazlı yayımlanmamış *jeofizik etüt raporu*.2020.

İnternet Kaynakları

URL1.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7818230> (Erişim Tarihi:24.05.2021)

URL2.

https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Diyarbakir_in_Turkey.svg (Erişim Tarihi:20.05.2021)

URL3.

Phthon-3 GPR. (Erişim Tarihi:21.05.2021). RadarSystemsInc.Products.<http://www.radsys.lv/en/products-soft/products/prod/6>

URL4

<http://www.radsys.lv/en/index> (Erişim Tarihi: 25.05.2021)

URL5.

<https://www.netinbag.com/tr/science/what-is-penetration-depth.htm> (Erişim Tarihi: 18.05.2021)

URL 6 <https://tr.wikipedia.org/wiki/yeralti> suyu seviyesi (Erişim Tarihi:25.05.2021).



Jaya algorithm for design optimization of planar steel frames

İbrahim Behram UĞUR^{*1}, Sadık Özgür DEĞERTEKİN²

¹ Dicle University, Civil Engineering Department, behramugur@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-0950-4876

² Dicle University, Civil Engineering Department, sozgun@dicle.edu.tr, Orcid No 0000-0001-8885-6468

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 September 2021

Received in revised form 22 October 2021

Accepted 22 October 2021

Available online 31 December 2021

Keywords:

design optimization, planar steel frames, metaheuristic optimization methods, Jaya algorithm

ABSTRACT

An efficient metaheuristic optimization method called Jaya Algorithm (JA) has gained wide acceptance among optimization researchers in various engineering problems recently. The main feature of JA is that it does not use algorithm-specific parameters and has a very simple formulation based on the concept of approaching the best solution and moving away from the worst solution. This study presents the JA formulation for design optimization of planar steel frames under strength and displacement constraints. The validity of JA is investigated by solving two benchmark design examples. The results demonstrated the superiority of JA over other state-of-the-art metaheuristic optimization methods in terms of optimized weight, number of structural analyses and several statistical parameters.

Doi: 10.24012/dumf.1051486

* Corresponding author

Introduction

The metaheuristic optimization methods that mimic natural phenomena has been implemented for solving different design problems over the past three decades. A metaheuristic could be defined as the process of an iterative generation which sheds light on a heuristic by incorporating smartly different concepts for exploration and exploitation of the search space and achieving strategies in order to find near-optimum solutions [1]. Exploration and exploitation are the most significant concepts of finding the best solution in all metaheuristic optimization methods. Exploration provides generating diverse solutions in order to explore search space on a global scale whereas exploitation focuses on the search in a local region by exploiting the information. The balance between exploration and exploitation allows to identify regions containing high-quality solutions and move away from previously explored regions that are far from global optimum.

In the last two decades, the bio-inspired approaches (Genetic algorithm (GA) [2], Particle swarm (PSO) [3], Ant colony (ACO) [4], Honey bee mating (HBMO) [5], Enhanced honey bee mating (EHBMO) [6], Whale optimization algorithm (WOA) [7], Enhanced whale optimization algorithm (EWOA) [8] etc.) and physic-inspired approaches (Simulating annealing (SA) [9], Harmony search (HS) [10], Big-bang big-crunch [11],

Colliding bodies (CBO) [12] etc.) have been proposed for the optimization problems and extended by enhancing their capabilities in optimization procedures such as the convergence, time consumption and achieving the near-global optima.

The structures should be designed by determining the optimum cross-sectional areas so as not to exceed the strength and displacement limits given in the relevant specifications. Meanwhile, resource and time management are some of the most challenging problems in structural engineering; however, structural designers can overcome these problems using metaheuristics to obtain the best design in terms of cost and safety. Since frame structures constitute the vast majority of the skeletal systems in structural engineering, the design optimization (i.e. optimum design) of planar steel frames is a common selected issue as a benchmark problem to investigate the efficiency of novel metaheuristics. Hence, various optimization methods have been proposed for the design optimization of steel frames under strength and displacement constraints specified in design specifications.

Just to overview the literature published in the past two decades, Camp et. al. [13] used the ant colony algorithm (ACO) that is to simulate the ant behavior to structural optimization of steel frames. Degertekin [14] utilized the harmony search (HS) based on the concept of searching for

the best harmony in musical improvisation. The efficiency of HS was tested in the design optimization of planar steel frames in comparison with the genetic algorithm and ant colony optimization methods. In the study proposed by Saka [15], structural optimization algorithms including GA, SA and HS were reviewed and assessed comparing the optimization results of a steel frame design example for each method. Genetic algorithms, simulated annealing, evolution strategies, particle swarm optimizer, tabu search, ant colony optimization and harmony search are used for optimum design of real size steel frames by Hasancebi et al. [16]. Dogan and Saka [17] developed an optimum design algorithm based on particle swarm optimizer for planar steel frames. The superiority of the proposed algorithm was verified by optimizing three steel frames in comparison to SA and GA. An enhanced honey bee mating optimization method (EHBMA) for the optimum design of side sway steel frames was proposed by Maheri and Nerimani [6] in order to overcome trapping local optima and extend the search space of HBMO. The performance of the new method was evaluated with four design examples. Kaveh and Gaazan [8] proposed a new method called enhanced whale optimization algorithm (EWOA) to enhance the convergence speed and solution accuracy of the standard whale optimization algorithm (WOA). The efficiency of the EWOA was tested with four benchmark skeletal structures and the results were compared to standard WOA and other optimization methods. Carrero et. al. [18] implemented a search group algorithm (SGA) to three steel frame examples in order to investigate the efficiency of the method. The results demonstrated that the proposed method achieved competitive performance. Farshchin et. al. [19] applied a school-based optimization (SBO) algorithm that is an enhanced version of teaching-learning based optimization (TLBO) including multiple classrooms and multiple teachers for the optimum design of planar steel frames.

Most evolutionary and swarm-based intelligence algorithms require algorithm-specific parameters for tuning the optimization process. However, if the optimal parameter values cannot be obtained, the computational cost or convergence ability of the method will be adversely affected. In order to overcome this drawback, Rao [20] proposed a parameter-less evolutionary algorithm that has a powerful search engine and can be easily implemented for any optimization problem. The JA and its enhanced versions with various strategies have been utilized in large-scale real-life urban traffic light scheduling problems [21], parameter estimating of battery models [22], cost minimization of underground cable systems [23], structural damage detection [24]. Besides, the JA was used also for the optimum design of truss structures with both discrete and continuous variables [25,26]. The satisfactory performance of the JA in sizing optimization of truss structures encouraged the authors to use JA in the structural optimization of planar steel frames.

The main objective of this study is to minimize the weight of planar steel frames with the design constraints of American Institute of Steel Construction-Load and Resistance Factor Design (AISC-LRFD) [27] by using the

JA. For this purpose, JA is applied to the design optimization of the two planar frames utilized as the classical benchmark problems in the literature.

The remaining parts of the study are organized as follows: Section 2 recalls the discrete sizing optimization of planar steel frames according to AISC-LRFD [27]. Section 3 outlines the main steps for the implementation of the JA. Section 4 describes the benchmark problems and discusses optimization results. Section 5 provides a brief conclusion of the study.

Design optimization of planar steel frames

Design optimization is the one with the minimum weight among the designs that satisfy the constraints. Cross-sectional areas are selected as design variables in the optimization problem. The objective of the optimization problem is to minimize the weight of steel frames under strength and displacement constraints by assigning the most proper steel profiles in a ready section list. The formulation of design optimization problem of planar frames can be stated as:

Find $A \in S = \{A_1, A_2, \dots, A_b, \dots, A_{ncs}\}$

to minimize

$$W(A) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} \gamma_i L_i \quad (1)$$

$k=1,2,\dots,ng \quad i=1,2,\dots,nm$

subject to $g_j(A) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,nc$

where A is the vector including the design variables (i.e. member groups), S is the ready section list consists of steel profiles, $W(A)$ is the total weight of structure defined as an object function, γ_i and L_i are the material density and the length of i -th member, A_i is the cross-sectional area of the i -th member, $g_j(A)$ denotes the design constraints including strength and displacement constraints, nc is number of design constraints, ng is number of member group (i.e. design variables), nm is the number of members, ncs is the number of discrete cross-sectional areas in the steel profile list.

A penalty approach is utilized to distinguish the designs that satisfy or not satisfy design constraints. Accordingly, the penalized objective function is defined as follows:

$$W_p(A) = (1 + \varepsilon_1 \times \psi)^{\varepsilon_2} \times W(A) \quad (2)$$

$$\psi = \sum_{j=1}^n \max [0, g_j(A)] \quad (3)$$

where $g_j(A)$ is the maximum violation values for each design constraint, n is the number of design constraints, ψ represents the sum of the violated constraints. ε_1 is the penalty constant set to 1, ε_2 is the exponent of the penalty function taken as 2. The penalty parameters allow the objective function to approach in a feasible direction.

Constraints used in design optimization of frames

The design optimization of steel frames is subjected to displacement and strength constraints specified in the AISC-LRFD [27]. Strength constraints are described as following interaction equations expressed in AISC-LRFD against both bending and axial forces:

$$g_{s,i}(A) = \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0 \quad (4)$$

$$g_{s,i}(A) = \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0 \quad (5)$$

where $g_{s,j}(A)$ denotes the strength constraint for i -th member, P_u and P_n represent the required axial strength and the nominal axial strength for both compression and tension; M_{ux} and M_{nx} denote required flexural strength and nominal flexural strength about the x -direction (major axis); M_{uy} and M_{ny} are the required flexural strength and nominal flexural strength about the y -direction (minor axis). It should be noted that $M_{ny}=0$ for planar frames. ϕ_c is the axial resistance factor and taken as 0.90 for tension and 0.85 for compression; ϕ_b is the flexural resistance reduction factor and taken as 0.90.

Lateral displacement and interstory drift constraints used in this study could be defined as follows:

$$g_d(A) = \frac{\Delta_T}{H} - R \leq 0 \quad (6)$$

$$g_{is,n}(A) = \frac{d_n}{h_n} - R_l \leq 0 \quad n = 1,2 \dots ns \quad (7)$$

where $g_d(A)$ and $g_{is,n}(A)$ are the lateral displacement and interstory drift constraints, Δ_T is the lateral displacement of the top story, H is the total height of the steel frame, R is the maximum displacement limit taken as 1/300, d_n is the interstory drift of the n -th story, h_n is the height of the n -th story. ns is the number of stories. R_l denotes the interstory limit value specified as 1/300.

Jaya Algorithm (JA)

The JA recently developed optimization method is firstly proposed by Rao [20]. The word ‘‘Jaya’’ originally means ‘‘victory’’ in Sanskrit. The algorithm is based on the concept that the solution obtained for a given optimization problem should move toward the best solution and must avoid the worst solution. The algorithm always tries to get closer to success (i.e. reaching the best design) and then tries to avoid failure (i.e. moving away from the worst design) [20]. The most important feature of JA is not to have any algorithm-specific parameters unlike other metaheuristic. The JA only

requires two standard control parameters which are the population size (i.e. number of steel design in the population) and maximum iteration number.

The implementation of JA is very simple and has only one equation for modifying the designs. $A_{k,l,it}$ denotes the value of the k -th design variable for the l -th design during the it -th iteration, the JA modifies the $A_{k,l,it}$ as follows:

$$A_{k,l,it}^{new} = A_{k,l,it} + r_{1,k,it} (A_{k,best,it} - |A_{k,l,it}|) - r_{2,k,it} (A_{k,worst,it} - |A_{k,l,it}|) \quad (8)$$

where $A_{k,l,it}^{new}$ is the new design variable for the $A_{k,l,it}$, $r_{1,k,it}$ and $r_{2,k,it}$ are the randomly generated real numbers in the range [0,1] for the k -th design variable at the it -th iteration. $A_{k,best,it}$ is the k -th design variable of the best design at the it -th iteration and $A_{k,worst,it}$ is the k -th design variable of the worst design at the it -th iteration. The term $r_{1,k,it} (A_{k,best,it} - |A_{k,l,it}|)$ indicates the tendency of the solution to move closer to the best solution, and the term $-r_{2,k,it} (A_{k,worst,it} - |A_{k,l,it}|)$ indicates the tendency of the solution to avoid the worst solution. It is worth pointing out that the random numbers r_1 and r_2 ensure good exploration of the search space and the absolute value of the candidate solution ($|A_{k,l,it}|$) considered in Eq. (8) further enhances the exploration ability of the algorithm [20].

As mentioned earlier, JA has no algorithm-specific parameter and only needs common control parameters as population size (np) and maximum iteration number (it_{max}). The optimization is terminated when the maximum iteration number is exceeded. However, each optimization run could find the best solution for a different value of it_{max} . Sensitivity analyses are required in order to find the most appropriate it_{max} value in each design example. Instead, the following formulation is implemented to terminate the search process when it is satisfied:

$$\frac{STD [W_p(A^1), W_p(A^2), \dots, W_p(A^{np})]}{\sum_{i=1}^{ns} \left(\frac{1}{W_p(A^i)} \right)} \leq \epsilon_{con} \quad (9)$$

where STD stands for the standard deviation, $W_p(A^i)$ is the penalized objective function of i -th design in the population, np is the population size, ϵ_{con} is the coefficient of convergence tolerance taken as 10^{-4} .

Implementation of JA for design optimization of steel frames

In design optimization of steel frames, the JA is initialized by randomly generated frame designs as the population size np (i.e. number of frame designs) and the penalty functions for each design are calculated by the results of structural analysis. The penalized functions are calculated at the rate of constraint violation. After that, the frame design with the lowest penalized function value $W_p(A_i^{best})$ and the highest penalized function value $W_p(A_i^{worst})$ is assigned to the best design and the worst design, respectively. Design variables are modified using Eq. (8). The new frame design is generated with modified design

variables. The new penalized objective function $W_{p,new}(A)$ is calculated. If the new penalized objective function value is less than the previous one, ($W_{p,new}(A) < W_{p,pre}(A)$), the new design is replaced with the previous one. Otherwise, the previous design remains unchanged. This process is repeated for each frame design in the population, and then an iteration is completed. The optimization is terminated when the Eq. (9) is satisfied. The best design without constraint violation is reported as the optimum design.

The implementation of JA for design optimization of steel frames is summarized below.

- Step 1: Generate the initial population (i.e. steel frame designs) Calculate the penalized objective function values $W_p(A)$ for all frame designs in the population using Eqs. (1-7). Set the iteration counter as $it=0$.
- Step 2: Increase the iteration counter, $it=it+1$
- Step 3: Determine the best and worst design of the population.
- Step 4: Modify design variables of a steel frame by using Eq. (8) in the population. Obtain the new design by modifying design variables (A^{new}) and calculate the penalized function value $W_p(A^{new})$.
- Step 5: If $W_p(A_i^{new}) < W_p(A_i^{pre})$, replace the i -th new design with the previous one, otherwise; unchanged the previous design. Repeat steps 4 and 5 for each frame design stored in the population.
- Step 6: Terminate the optimization process if Eq. (9) is satisfied. Select the feasible design with the lowest objective function as the final optimum design. Otherwise, go to Step 2

Design Examples

To demonstrate the performance of JA, two benchmark frame examples as follows: three-bay fifteen-story steel frame and a three-bay twenty four-story steel frame are optimized according to provisions of AISC-LRFD [27] and the results are compared with other metaheuristic methods in the literature.

The JA was executed ten different times by using ten different initial populations. The population size was set to 20 for all examples. The statistical performance and robustness of algorithms are assessed and reported in related tables. The best, mean and worst weights for ten different runs are reported in the tables. The standard deviation of ten runs and number of structural analyses for the best design are also presented in tables. The optimum design of each example reported in other referenced studies was analysed using the given optimum steel profiles in order to check their constraint violations. If detected, the maximum violation percent of design constraints are reported in the tables.

The main program included JA was coded in the MATLAB R2017a [28], however; the structural analyses of steel frames are performed by OPENSEES [29]. Therefore, optimum

design is carried out by constantly interacting with MATLAB and OPENSEES.

Three-Bay Fifteen-Story Frame

Three-bay fifteen-story planar frame was optimized firstly by Saka [15] using SA and GA according to AISC-LRFD [27]. The geometry and load conditions of the frame are shown in Figure 1. The frame consists of 105 members divided into 12 design groups. Member grouping is considered as consecutive three-story inner and outer columns form a distinct group, roof and intermediate story beams constitute a distinct group. The frame is subjected to gravity loading as well as wind loading considering 45 m/s wind speed and 6 m frame spacing [15]. The modulus of elasticity is 200 kN/mm². In this example, both interstory drift and lateral displacement of the top story are considered as displacement constraints and restricted to be smaller than 1.17 cm and 17.67 cm, respectively.

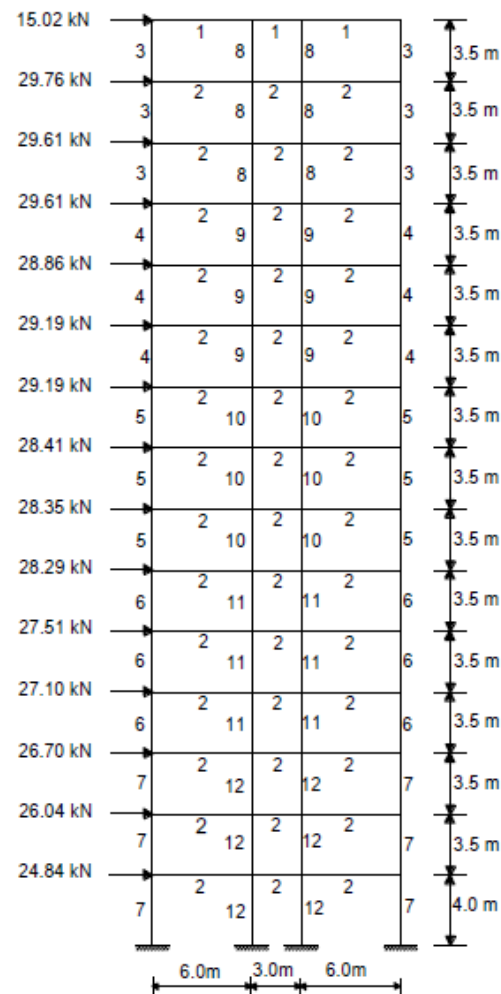


Figure 1. Three-bay fifteen-story frame

The optimum design results of JA and other methods in the literature are reported in Table 1. JA obtained the best design weighing of 34103 kg which is %8.71 lighter than the best design obtained using PSO [17], %13.1 lighter than the SA and %16.7 lighter than GA [15]. In addition, JA has found better a design with less structural analysis with lower standard deviation than the others. The maximum lateral displacement and interstory drift are 13.18 cm and 1.16 cm, respectively.

Besides, interaction ratio is 0.99 which means strength constraints govern the optimization process. It should be noted that the JA strictly satisfies the design constraints, however; PSO [17] violated displacement constraint as shown in Table 1.

Table 1. Comparison of optimum designs for three-bay fifteen-storey frame

Design variables	GA [15]	SA [15]	PSO [17]	JA This study
1	W21×50	W21×50	W6×9	W8×21
2	W24×55	W21×57	W21×44	W21×44
3	W10×39	W10×33	W10×33	W14×30
4	W14×53	W10×39	W10×33	W16×40
5	W14×53	W12×53	W14×53	W18×50
6	W14×68	W16×67	W21×111	W24×68
7	W24×117	W24×104	W21×111	W24×104
8	W14×43	W10×39	W14×61	W8×28
9	W14×48	W14×48	W14×61	W14×43
10	W14×68	W14×61	W24×76	W21×62
11	W14×109	W14×99	W27×94	W30×90
12	W16×100	W14×99	W27×102	W30×108
Best weight (kg)	40949	39262	37360	34103
NSA	25000	15500	7000	7870
Mean weight (kg)	N/A	N/A	N/A	35381
Worst weight (kg)	N/A	N/A	N/A	37395
SD	N/A	N/A	N/A	1366
Max CV (%)	None	None	116	None

The design history graph of optimization using PSO [17] and JA is plotted in Fig. 8. The convergence of JA is rather satisfying in comparison with PSO [17].

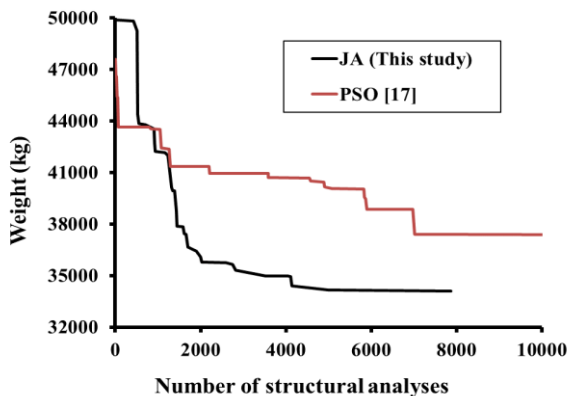


Figure 2. Comparison of convergence curves for the three-bay fifteen-story frame

Three-Bay Twenty-Four Story Frame

The second benchmark example is the three-bay twenty-four story frame consisting of 168 members that are collected in 20 groups shown in Fig. 3. The frame was originally designed by Davison and Adams [31], later optimized by PSO [13], HS [14], SGA [18], HBMO and EHBMO [6], WOA and EWOA [8] and SBO [19]. The material modulus of elasticity is 29782 ksi (205340 MPa) and the yield stress is taken as 33.4 ksi (230.3 MPa). All members are considered unbraced along their lengths. For each column, the effective length factor is calculated according to equations proposed by Dumonteil [30] for sway-permitted frames. The effective length factor of the out-of-plane columns (K_y) is considered as 1.0. The beam member groups could be selected from W-shaped sections in AISC standard profile list while the column members are limited to W14 cross-sections. The member grouping scheme is demonstrated in Fig. 3. Since all results in the literature are reported in imperial units, same units are used in here to prevent rounding errors. Table 2 lists results of optimum designs including JA and other referenced optimization methods.

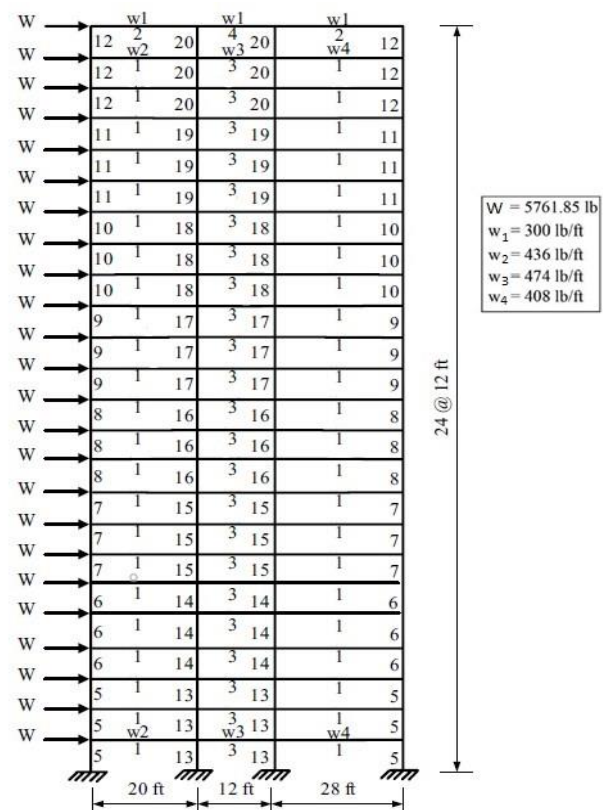


Figure 3. Three-bay twenty-four story frame (1 ft = 30.48 cm)

Table 2. Comparison of optimum designs for three bay twenty four story frame

Design variables	ACO [13]	HS [14]	SGA [18]	HBMO [6]	EHBMO [6]	WOA [8]	EWOA [8]	SBO [19]	JA This study
1	W30×90	W30×90	W24×68	W10×22	W10×15	W30×90	W30×90	W30×90	W30×90
2	W8×18	W10×22	W21×55	W27×539	W36×256	W10×17	W10×30	W8×18	W6×15
3	W24×55	W18×40	W24×62	W8×21	W6×16	W21×62	W24×55	W21×48	W24×55
4	W8×21	W12×16	W12×87	W33×221	W27×146	W14×26	W6×8.5	W6×8.5	W16×26
5	W14×145	W14×176	W14×159	W14×145	W14×145	W14×109	W14×159	W14×152	W14×159
6	W14×132	W14×176	W14×145	W14×145	W14×120	W14×145	W14×99	W14×120	W14×120
7	W14×132	W14×132	W14×120	W14×68	W14×26	W14×109	W14×120	W14×109	W14×109
8	W14×132	W14×109	W14×99	W14×22	W14×26	W14×99	W14×74	W14×74	W14×74
9	W14×68	W14×82	W14×68	W14×48	W14×53	W14×53	W14×74	W14×82	W14×82
10	W14×53	W14×74	W14×48	W14×68	W14×99	W14×43	W14×43	W14×43	W14×38
11	W14×43	W14×34	W14×48	W14×132	W14×159	W14×34	W14×30	W14×34	W14×53
12	W14×43	W14×22	W14×34	W14×342	W14×30	W14×22	W14×22	W12×19	W14×22
13	W14×145	W14×145	W14×109	W14×159	W14×145	W14×120	W14×90	W14×109	W14×90
14	W14×145	W14×132	W14×82	W14×109	W14×26	W14×99	W14×120	W14×109	W14×109
15	W14×120	W14×109	W14×99	W14×99	W14×74	W14×109	W14×90	W14×99	W14×90
16	W14×90	W14×82	W14×109	W14×48	W14×26	W14×82	W14×99	W14×99	W14×90
17	W14×90	W14×61	W14×90	W14×43	W14×26	W14×90	W14×68	W14×68	W14×61
18	W14×61	W14×48	W14×74	W14×53	W14×26	W14×61	W14×61	W14×61	W14×61
19	W14×30	W14×30	W14×43	W14×176	W14×370	W14×38	W14×43	W14×34	W14×22
20	W14×26	W14×22	W14×43	W14×211	W14×109	W14×22	W14×22	W14×22	W14×22
Best weight (lb)*	220465	214860	194508	214848	188640	206520	203490	202422	202125
NSA	15500	13924	8010	2074	1826	19640	18820	14572	18732
Mean weight (lb)	229555	222620	213545	N/A	N/A	216475	208648	209560	207949.2
Worst weight (lb)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	243143	226019	N/A	216308.9
SD	4561	N/A	7027	N/A	N/A	N/A	N/A	7052	4204
Max CV (%)	None	None	34	893	1766	None	None	None	None

*1 lb=0.4536 kg

The JA has the best design weighing of 202125 lb (91682 kg) in comparison to all methods reported in the table. It should be noted that the JA is overall the most efficient optimizer with the lightest feasible design and the lowest standard deviation value. The maximum interaction ratio and interstory drift of the optimum design obtained by JA are 0.95 and 0.479 in (1.33 cm). Although SGA [18] and EHBMO [6] found lighter designs weighing of 194508 lb (88227 kg) and 188640 lb (85565 kg) respectively, these designs violate constraints at high rates as %34 and %1766.

Fig. 4 illustrates the convergence history of JA and other algorithms to the optimum design. Despite the fact that number of structural analyses required by JA is 18732, it has the best performance in terms of convergence rate and reaching the optimum design as seen in Fig 4.

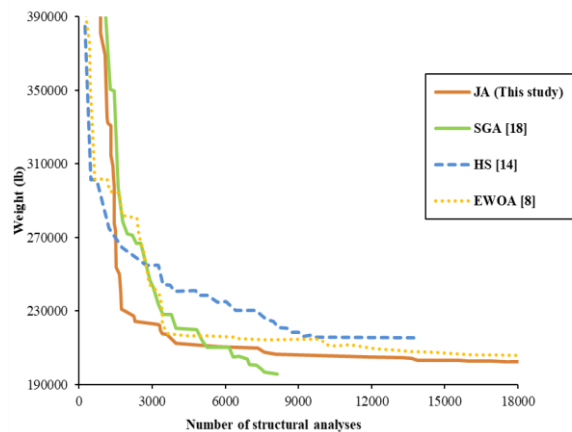


Figure 4. Comparison of convergence curves for the three-bay twenty-four story frame (1 lb= 0.4536 kg)

Conclusions

In this study, the standard JA was modified in order to improve its performance. Two planar steel frames previously optimized by various metaheuristic optimization methods are designed to demonstrate the validity of JA. The results obtained by JA were compared with those of other state-of-art metaheuristic optimization methods. Remarkably, JA found the best design compared to all methods in both examples and strictly satisfied the design constraints. The statistical parameters obtained by different runs of JA indicate that JA has better performance than the other algorithms in terms of robustness, convergence speed and feasibility.

Acknowledgement

This research has been supported by Dicle University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: MÜHENDİSLİK. 21.004, 2021.

References

- [1] D. Henderson, S.H. Jacobson, A.W. Johnson, F. Glover and G.A. Kochenberger Handbook of metaheuristics. Chapter "The Theory and Practice of Simulated Annealing," 57, 287-319. 2003.
- [2] J.H. Holland. "Adaptation in natural and artificial systems," Ann Arbor, MI: University of Michigan Press; 1975.
- [3] J. Kennedy and R. Eberhart "Particle swarm optimization", In: Proceedings of IEEE international conference on neural networks. Perth, Australia, pp 1942–1948, 1995.
- [4] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Coloni. "The ant system: optimization by a colony cooperating agents". IEEE Trans Syst, Man Cybern B;1(26):29–41, 1996.
- [5] O. Bozorg Haddad, A. Afshar, MA Marino "Honey bees mating optimization algorithm (HBMO); a new heuristic approach for engineering optimization" In: Proc. 1st int. conf. on modeling, simulation and applied optimization (ICMSA0/05), Sharjah, UAE; 2005 February
- [6] M.R. Maheri, H. Shokrian and M.M. Narimani, "An enhanced honey bee mating optimization algorithm for design of side sway steel frames" Advances in Engineering Software, 109, 62-72, 2017.
- [7] S. Mirjalili, and A. Lewis, "The whale optimization algorithm." Advances in Engineering Software, 95, 51-67, 2016.
- [8] A. Kaveh and M.I. Ghazaan, "Enhanced whale optimization algorithm for sizing optimization of skeletal structures", Mechanics Based Design of Structures and Machines, 45(3), 345-362, 2017.
- [9] P.J. Van Laarhoven and E.H. Aarts, "Simulated annealing. In Simulated annealing: Theory and applications" (pp. 7-15). Springer, Dordrecht, 1987.
- [10] Z.W. Geem,, J.H. Kim and G.V. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: harmony search", Simulation, 76(2), 60-68, 2001
- [11] O.K. Erol and I. Eksin, "A new optimization method: big bang–big crunch", Advances in Engineering Software, 37(2), 106-111, 2006.
- [12] A. Kaveh and V.R. Mahdavi, "Colliding bodies optimization: a novel meta-heuristic method", Computers & Structures, 139, 18-27, 2014.
- [13] C.V. Camp, B.J. Bichon and S.P. Stovall. "Design of steel frames using ant colony optimization." Journal of Structural Engineering, 131(3), 369-379, 2005.
- [14] S.O. Degertekin, "Optimum design of steel frames using harmony search algorithm.", Structural and Multidisciplinary Optimization, 36(4), 393-401, 2008.
- [15] M.P. Saka, M. P, "Optimum design of steel frames using stochastic search techniques based on natural phenomena: a review. Civil computations: tools and techniques", Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, UK, 105-147, 2007.
- [16] O. Hasançebi, S. Çarbaş, E. Doğan, F. Erdal and M.P. Saka, "Comparison of non-deterministic search techniques in the optimum design of real size steel frames", Computers & structures, 88(17-18), 1033-1048, 2010.
- [17] E. Doğan and M.P. Saka, "Optimum design of unbraced steel frames to LRFDAISC using particle swarm optimization." Advances in Engineering Software, 46(1), 27-34, 2012.
- [18] F. Carraro, R.H. Lopez and L.F.F. Miguel, "Optimum design of planar steel frames using the Search Group Algorithm." Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 39(4), 1405-1418, 2017.
- [19] M. Farshchin, M. Maniat, C.V: Camp, and S. Pezeshk, "School based optimization algorithm for design of steel frames." Engineering Structures, 171, 326-335, 2018.

- [20] R. Rao, "Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems." *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34, 2016.
- [21] K. Gao, Y. Zhang, A. Sadollah, and R. Su, "Jaya algorithm for solving urban traffic signal control problem" 14th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) (pp. 1-6). IEEE, 2016
- [22] L. Wang, Z. Zhang, C. Huang, and K.L. Tsui, "A GPU-accelerated parallel Jaya algorithm for efficiently estimating Li-ion battery model parameters." *Applied Soft Computing*, 65, 12-20, 2018.
- [23] P. Ocloń, P. Cisek, M. Rerak, D. Taler, R. Rao, A. Vallati, and M. Pilarczyk, Thermal performance optimization of the underground power cable system by using a modified Jaya algorithm. *International Journal of Thermal Sciences*, 123, 162-180, 2018.
- [24] Z. Ding, J. Li, and H. Hao, "Structural damage identification using improved Jaya algorithm based on sparse regularization and Bayesian inference." *Mechanical Systems and Signal Processing*, 132, 211-231, 2019.
- [25] S.O. Degertekin, L. Lamberti, and I.B. Ugur, "Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using the Jaya algorithm." *Applied Soft Computing*, 70, 903-928, 2018.
- [26] S.O. Degertekin, L. Lamberti, and I.B. Ugur, "Discrete sizing/layout/topology optimization of truss structures with an advanced Jaya algorithm." *Applied Soft Computing*, 79, 363-390, 2019.
- [27] AISC-LRFD, "Manual of steel construction. Load and resistance factor design". Metric conversion of the second edition, vol. I & II. AISC; 1999.
- [28] The MathWorks, MATLAB®Version R2017a, Austin (TX) USA.
- [29] S. Mazzoni, F. McKenna, M.H. Scott, and G. Fenves, OpenSees command language manual. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, 264, 2006
- [30] P. Dumonteil, W. Moore, "Simple Equations for Effective Length Factors-Discussion." *Eng J-Am Inst Steel Constr INC*; 30:37-37, 1993.
- [31] J.H. Davison and P.F. Adams, "Stability of braced and unbraced frames", *Journal of the Structural Division*, 100(2), 319-334, 1974.



Canal Istanbul and Political Dispute on Turkish Straits

Ceyhun ÖZÇELİK¹, Kader BENLİ^{2*}

¹ Muğla Sıtkı Koçman University, Civil Engineering Department, cozcelik@mu.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-4111-2562

² Ege University, Civil Engineering Department, PhD Candidate, kaderbenli48@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-7768-6317

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 October 2021
Received in revised form 18
December 2021
Accepted 29 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Canal Istanbul, Canal
Marmara, Montreux, Black
Sea, Mediterranean Sea,
Turkish Straits

Doi: 10.24012/dumf.1051493

* Corresponding author:

ABSTRACT

Turkish Straits -- Dardanelles and Bosphorus -- are one of the most important passages of maritime transportation of the world. Connecting Black Sea countries to Mediterranean Sea and world, these natural sea passages are not vital only for economy and security of Black Sea and Mediterranean countries but also for the future of the region and world peace. They are one of the most dangerous and difficult to cruise seaways with powerful streams, sharp routes and high traffic. The president of Turkey started in 2011 to a disputed campaign --Canal Istanbul-- to bypass Bosphorus for shipping safety. Because of its size and possible impacts on environment and international politics, the project is called as "Crazy Project". However, the main political dispute is around Montreux Convention, which regulates transits of merchant and war vessels. Combined with Chinese Maritime Silkroad, Canal Istanbul sounds to have a potential to influence world dynamics. Regarding available technical information, political views and international legislations, this study reviews the Canal Istanbul Project in an integrated way of its economic, environmental, engineering and socio-political impacts. Near and future results of the project on the country's and world's maritime trade and politics are discussed from engineering, sociologic and political perspectives. The project may have immense impacts on both Black Sea Countries and the countries wish to use the straits and canals, especially on world leading powers. Amendment of Montreux Convention may spark a wide scale international conflicts for regional transportation, maritime trades and naval forces. Therefore, an international consensus should be established for any changes on the regulations related to transits of both merchant and war vessels, for the safeguard of Turkish straits and Black Sea.

Introduction

Upon China's being world's economic leader in 2014 based on purchasing power [1] and together with fluctuations on global power balances, the importance of global waterways has begun to increase, especially by the effects of Silk Road Economic Belt and Maritime Silk Road initiatives which has started by Chinese leader Xi Jinping in 2013. The first practical step of these initiatives was Belt & Road Forum for International Cooperation --21th Century's Silk Road--. This step brought together high-level authorities from many countries including Turkey's president Recep Tayyip Erdogan, heads of states of Russia, Hungary, Mongolia and Tajikistan.

On the success of these initiations one of the important roles of Turkey's political pose, regarding its geostrategic location and historical connections. Vessel traffic of Asia through Bab al Mandab and Suez Canal, oil tankers of Hurmuz strait (Umman Bay), merchant and war vessels of Gibraltar (Cebelitarık) Strait, ships of Black Sea and trades via Caspian Sea intersect in the region. Such a geostrategic importance keeps region dynamic as well as under stress. However, the flaring dispute was not until Turkish President declaration on Istanbul Strait on April 27, 2011. His campaign was on constructing an artificial canal named -- Canal Istanbul-- to bypass Bosphorus. Dividing Istanbul into three parts with a main island isolated by Bosphorus

and Canal Istanbul, the project in fact aims a safe maritime transportation along Bosphorus. In the strategic plan of Turkey's Ministry of Transportation and Infrastructure for 2019-2023, this aim was given as "to create an international water way to reduce traffic in Bosphorus." [2] The Project is also expected to increase revenues from transits and navigation through Turkish straits.

The canal draws large public controversy, reviving periodically. One of the main discussions is economical dimension of the project. It changes between 10 to 80 billion USD, depending on facilities to be considered. if the project will return its investment is unclear. The project has a potential to generate a migration pressure on Istanbul with 0.5 to 1.5 million new habitants. During the construction period, population of central Istanbul is to be stacked in a narrow island.

Environmental concerns include but not limited with million tons of rubble, losses of already limited farm and green areas, contamination of fresh water resources, unplanned increase in population, deformation of costal zones and degradation of flora and fauna habitats. Therefore, the critical question raised by opposition parties is if it is worthy to trench the city from end to end at the cost of million dollars so as to provide an alternative and safe passage for transits through straits. The reactions around the country are different, and people seems to be divided into

two opposite opinions. Is it a vision to lead the country to future or a ravage dividing Istanbul into three parts by wasting billions of dollars for vain?

The main text regulating transit and navigation in Turkish straits is Montreux Convention. It recognizes the freedom of transits without any formality except some service charges and taxes. It is still in force for 83 years, since the date of its entry into force on December 11, 1936. Therefore, diverting the navigation from a natural strait into a narrow Canal subjected to a fee collection sounds a problematic issue. In fact, Montreux Convention would have been in force for 20 years after the registration of the Convention in 1936. However, since no High Contracting Party have given any notice of denunciation, it is still continuing in force, and will be continuing in force until two years after such notice shall have given. If Canal Istanbul will prompt the contracting parties to give such any notice?

This study aims to review technical information, political views and international legislations on economic, environmental, socio-politic aspects of the Canal Istanbul Project. Project's future impacts on maritime transportation, regional and international peace as well as on the safety of Bosphorus and Istanbul is discussed. The project is also evaluated regarding alternative routes from Aegean Sea to Black Sea, considering Montreux Convention, which comprises not only Bosphorus but also Dardanelles as well as Black Sea.

Study Area

Istanbul & Straits --Bosphorus & Dardanelles—

Istanbul is the city at the intersection of two continents -- Asia and Europe--. Bosphorus is the passage dividing

Istanbul into two parts, connecting Black Sea to Aegean Sea through Marmara Sea and Dardanelles. The length of the strait is 30 km, the width is 700 m at the narrowest section and 3600 m at the largest section. Its maximum depth is 120 m. There are three suspension bridges over Bosphorus, which are 15 Temmuz Şehitler, Fatih Sultan Mehmet and Yavuz Sultan Selim Bridges. There is a channel tunnel under the Bosphorus, making possible to connect Beijing to London. Bosphorus is the only passage to reach to Mediterenian Sea and thus to oceans, for Black Sea countries -- Ukraine, Romania, Bulgaria, Georgia and Russia --

Dardanelles is the only passage connecting Mediterranean Sea to Marmara Sea then to Black Sea. The largest settlement along the coast of Dardanelles is Canakkale city with a population of 540000. The length of Dardanelles is 61 km, and the width is 1.2 km at minimum and 7 km at maximum. The deepest point of the strait is 103 m.

The population of Istanbul is 15.07 million and the largest of Turkey, with the density approximately 2840 person/km². Water resources of Istanbul fall short of the water demand. Having clean-fresh water in the city is getting more and more difficult, parallel to increase in urbanization [3]. Table 1 shows available water resources supplying water to the city. Sazlıdere Dam, which is to be removed by Canal Istanbul Project, supplies 3.3 % of the water requirement. Waters of Terkos Lake, which is under the risk of contamination by saline waters of the Canal, supplies 8.6 % of water requirement. 65 percent of this population lives in European side of the city while the only 35 % of fresh waters is available there [4].

Table 1. Fresh water resources of Istanbul

Water Resources	Anatolia								Europe							Total Istanbul	
	Melen 1 ve 2 Diversion Weir	Ömerli Dam	Yeşilçay Diversion Weir	Darlık Dam	Şile Caisson Wells	Elmalı 1 ve 2 Dams	Yeşilvadi Diversion Weir	Total Anatolia	Terkos Dam	Büyükçekmece Dam	Kazandere Dam	Istranca	Pabuçdere Dam	Sazlıdere Dam	Alibeyköy Dam		Total Europe
10 ⁶ m ³	575	220	145	97	30	15	10	1092.0	142	100	100	75	60	55	36	568.0	1660
%	34.6	13.3	8.7	5.8	1.8	0.9	0.6	65.8	8.6	6.0	6.0	4.5	3.6	3.3	2.2	34.2	100

Marmara Sea system is a semi closed sea system. Its surface area is 11500 km² and its maximum depth is 1270 m. Flow regime of Marmara Sea is from the east to west, contrary to circular type currents commonly seen on sea surfaces due to Coriolis effect [5]. Reverse currents due to coastal bathymetry and seasonal currents due to wind and pressure changes are also observed [6].

The flow regime of Marmara Sea surface is uniform because of high level Black Sea waters. Marmara Sea surface and bottom are formed by different water masses. The surface is sourced by Black Sea waters while the bottom is sourced by Aegean Sea waters. Therefore, salinity, temperature and dissolved oxygen are different in these water masses [6,7]. Black Sea waters are of low

salinity and high oxygen. It is 40 cm higher than Marmara Sea. Thus, Black Sea waters flows from surface to Marmara Sea and then to Aegean Sea [8]. Contrary, Aegean Sea waters are of high salinity and low oxygen. It flows from bottom to Marmara and then to Black Sea. Figure 1 depicts annual mean flows in Marmara Sea. Data of [7] were used to get the maps in the figure.

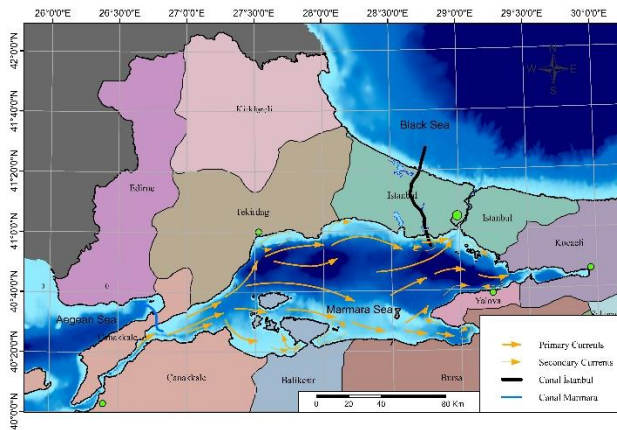


Figure 1a. Sea currents of Marmara bottom (lower).

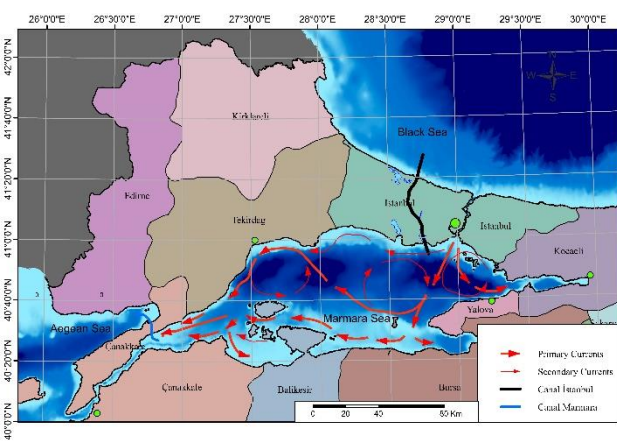


Figure 1b. Sea currents of Marmara; surface (upper).

Canal Istanbul

There were some draft ideas on connecting Black Sea and Marmara Sea during Ottoman times and also that there was a political promise of constructing such a channel during the election of 1990's Turkey. However, the declaration on April 27, 2011 about Canal Istanbul was the first serious suggestion presented to public opinion. The project was named as "Crazy Project" by public, regarding size of construction works, its constructability and its necessity [9].

Canal Istanbul bypasses Bosphorus to provide a safe shipping for transits. The strategic plan of Turkey for 2019 to 2023 explain this aim as "to create an international water way in order to reduce the traffic along Bosphorus" [2]. Of a great importance for safety and economy of the Black Sea countries, Bosphorus is the main sea passage connecting Mediterranean Sea to Black Sea. This makes the strategic value of Canal Istanbul is more obvious [10]. Istanbul as well as Bosphorus and Canal Istanbul is on a location

crossing continents so it is a natural part of a Silk Road, thus one of main potential partners of Silk Road Economic Belt and Maritime Silk Road Projects.

Vessels transiting Bosphorus are about 50000 in number and 365 million tonnes in cargo weight. It is expected to reach 65000 and 480 million tonnes in 2030, 95.000 and 800 million tonnes in 2050 and 115000 and 1000 million tonnes in 2070 [11]. Total number of transits along Bosphorus was around 3000 when Montreux Convention was signed in 1936 during when the population of Istanbul was approximately 800 thousand.

The number and tonnages of ships passing through Bosphorus, Gelibolu and Suez along years are given in Figure 2. Data is obtained from The Ministry of Transportation [12] and Infrastructure, and from Suez Canal Authority [13]. Regarding that today's ship traffic is about 17000 for Suez Canal and 13500 for Panama Canal, one can see that transits of Bosphorus are so high and risky as to endanger the city of Istanbul, noting daily 2500 ferryboats crossing these transits.

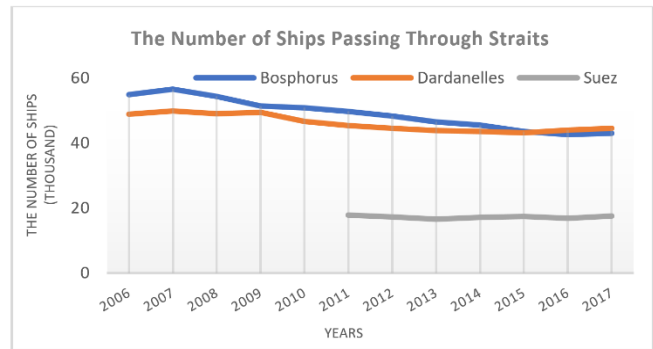


Figure 2a. Number of ships passing through Bosphorus, Dardanelles and Suez.

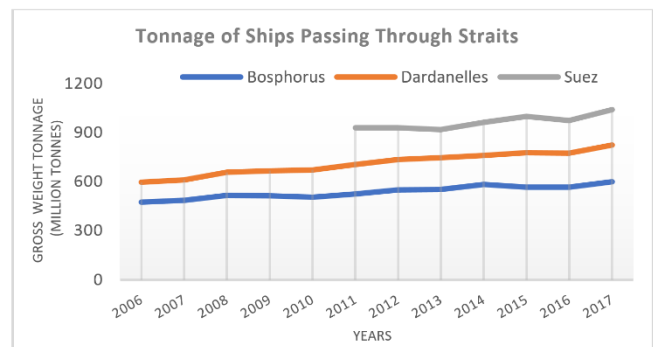


Figure 2b. Tonnages of ships passing through Bosphorus, Dardanelles and Suez.

Prepared by Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communication in 2017, the Preliminary Report For The Environmental Impact Assessment of Canal Istanbul [11] is the first concrete effort for the Canal. The report suggests one out of the five alternative routes for Canal Istanbul. The suggested site (Figure 3) encloses Avcılar, Kucukcekmece, Basaksehir and Arnavutkoy districts.

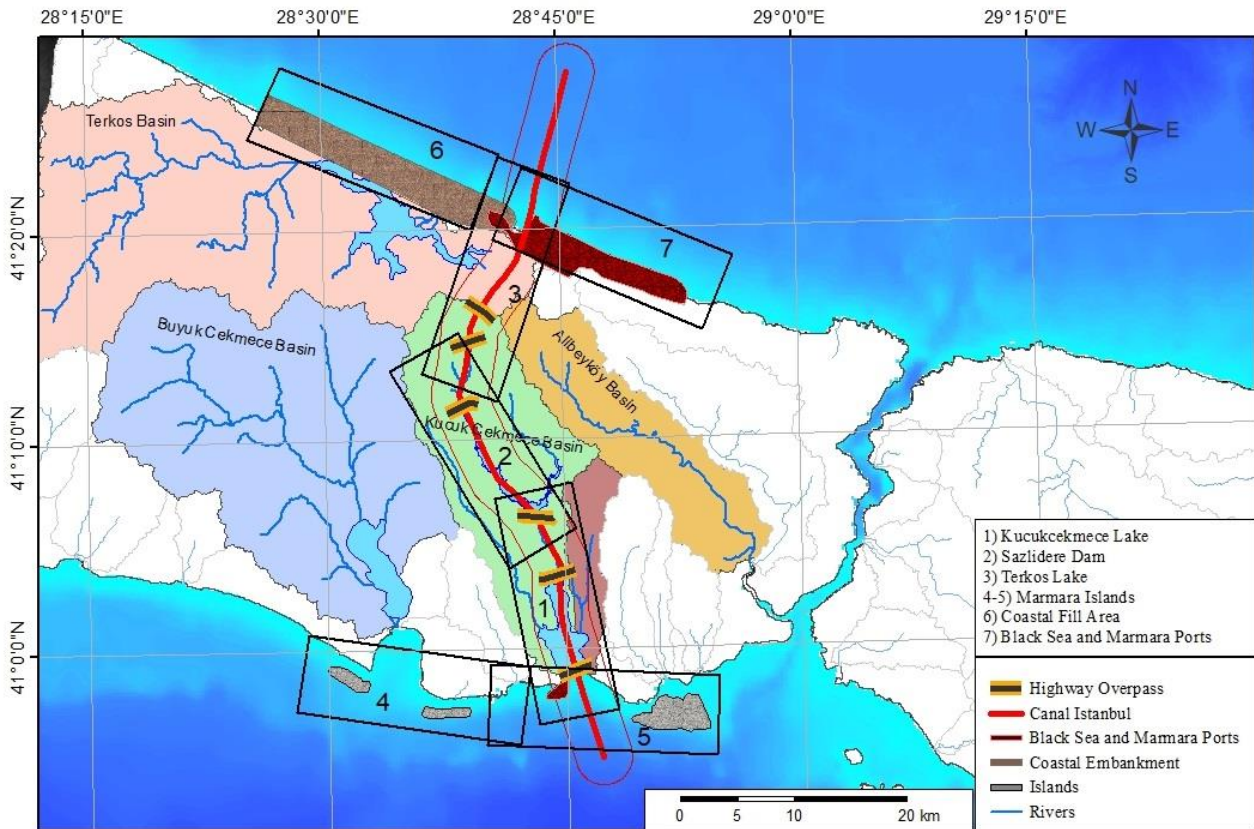


Figure 3. Canal Istanbul route map.

Black Sea entrance of Channel Istanbul is located between Terkos Lake and Istanbul new airport. Following the Sazlıdere Dam, which is planned to be removed by the project, the canal reaches to Kucukcekmece Lake and then to Marmara Sea. The length of the canal is around 45 km, the width is 250 m to 1000 m, changing along the route. The depth of the canal is 25 m, allows container ships with maximum dimensions of 145000 DWT, 275 m length, 48m width and 17.2 m draft height, and allows oil tankers with maximum dimensions of 120000 DWT, 340m length, 48.2m width and draft height 15m [11].

The project promises building of two new cities on both sides of the Canal. It involves Kucukcekmece Marina, Sazlıdere Marina, Marmara container port and Karadeniz container port. Six bridges or overpasses are planned along the Canal. On the Black Sea side of the Canal in Catalca and Arnavutkoy districts, two coastal zones are planned for backfilling. Three groups of islands were initially planned to be created on the Marmara Sea, using the rubbles of canal excavation of 1.5 billion m³ and the bottom dredging of 115 million m³. Construction time was estimated as 5 years, in addition to a preparation time for 1 year. It is assumed that the canal would serve for 100 years [11].

Parallel to progress in planning processes, the project has undergone important revisions. The Ministry of Environment and Urbanization declared on October 2019 that the project would be realized with some revisions. With respect to this new case, the preparation time increases to 2 years. Artificial islands and Sazlıdere Marina are canceled,

due to economic and environmental concerns. 1.079 billion m³ excavation work and 76.4 million m³ bottom dredging are reported. The backfilling on the Black Sea side of the Canal is 54.6 million m³. One of the two cities planned will be built till 2023. The cities of total 453 million m² comprises of 167 million m² land parcels, 108 million m² roads, 30 million m² canal and 37 million m² green areas. The cost is revised up to 75 billion TL (12.74 billion \$). 8 to 10 thousand people is planned to work on this huge construction, spreading over an area 63.2 million m² [9]. While the population to reside in these cities was reported initially as 1.2 million in total, it was revised to 500 thousand to reduce negative impacts on environment. The Minister of Environment and Urbanization stated that the cities would be smart cities with low story buildings.

Canal Marmara

Despite the disputes over Canal Istanbul Project, Turkey administration insists on Canal Istanbul, using his political power. Such an action would mean that Montreux convention may be opened into discussion in near years. Ignoring weather, the project is really to be realized or the convention is to be discussed, and without considering the consequences that the future of the region does face, should Canal Istanbul be constructed, it seems to trigger another crazy action. This action might be a launch of new canal project on Gallipoli --Canal Marmara-- which is to bypass Dardanelles, as a next step of Canal Istanbul.

Of course, such a second channel technically is not needed and sounds an irrational action built upon a crazy action. However, depending on the future of Montreux Convention, Canal Marmara in addition to Canal Istanbul will provide full control over navigation through straits. In other words, Canal Istanbul alone does not provide a bypass route for transits along straits, since Montreux Convention encompasses not only Bosphorus but also Marmara Sea and Dardanelles.

The number and tonnage of vessels transiting Dardanelles for 2017 are 44615 and 823460636 gt, which are higher than those transiting Bosphorus -- 42978 and 599324748 gt [12]. Of the width varying between 1.2 km and 7 km along the 61 km length and the sparsely populated settlements on both sides, Dardanelles imposes lesser risk to navigation safety than Bosphorus. In fact, the number of transits through the straits are getting lower along the years while tonnages are increasing (Figure 4)

In order to have a base to compare with Canal Istanbul Project, four alternatives for Canal Marmara are examined along Gallipoli. Alternatives are so selected as to keep the route and earthworks minimum (Figure 5). Cross-sections of these alternatives are given in Figure 6.

The alternatives are evaluated based on the length, area and volume, using the same Canal size as Canal Istanbul. Evaluation based on these parameters are comparably given in Table 2.

Canal Marmara alternative 1 is the more convenient alternative, based on the earthworks needed for the route. Cross sectional views of Canal Marmara -- Canal Marmara alternative 1 -- and Canal Istanbul -- Canal Istanbul Alternative 4, which is the approved route by Government- is given in Figure 7.

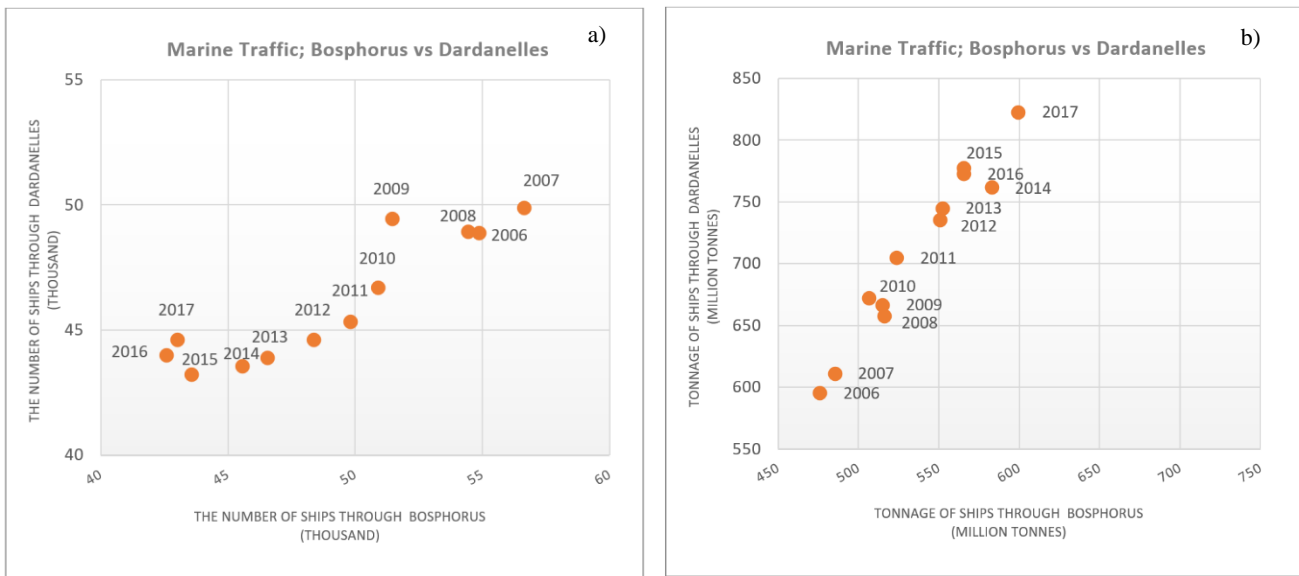


Figure 4. Comparison of transits through Turkish straits; (a) the number of ships, (b) tonnage.

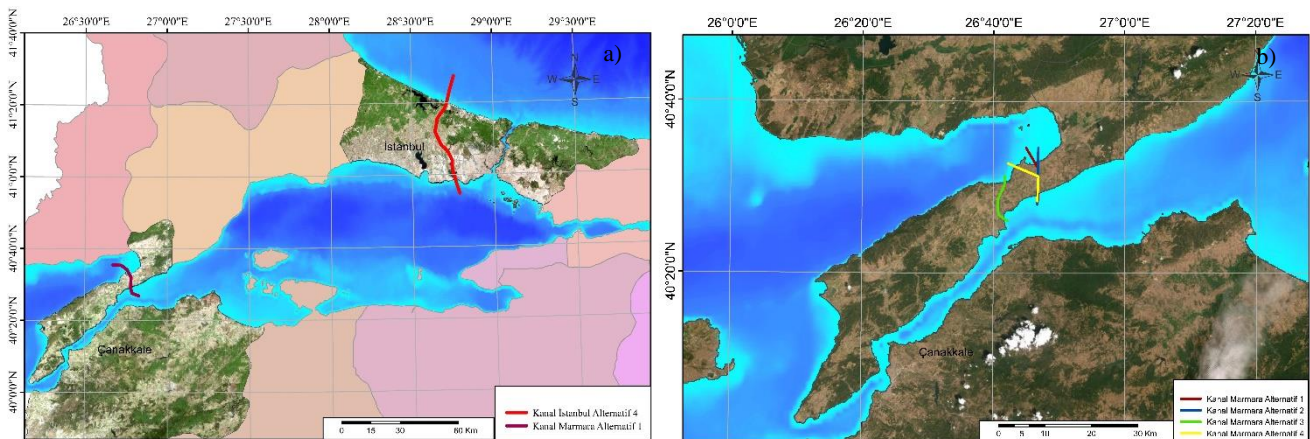


Figure 5. Canal Istanbul and Canal Marmara; (a) locations, (b) alternative routes for Canal Marmara.

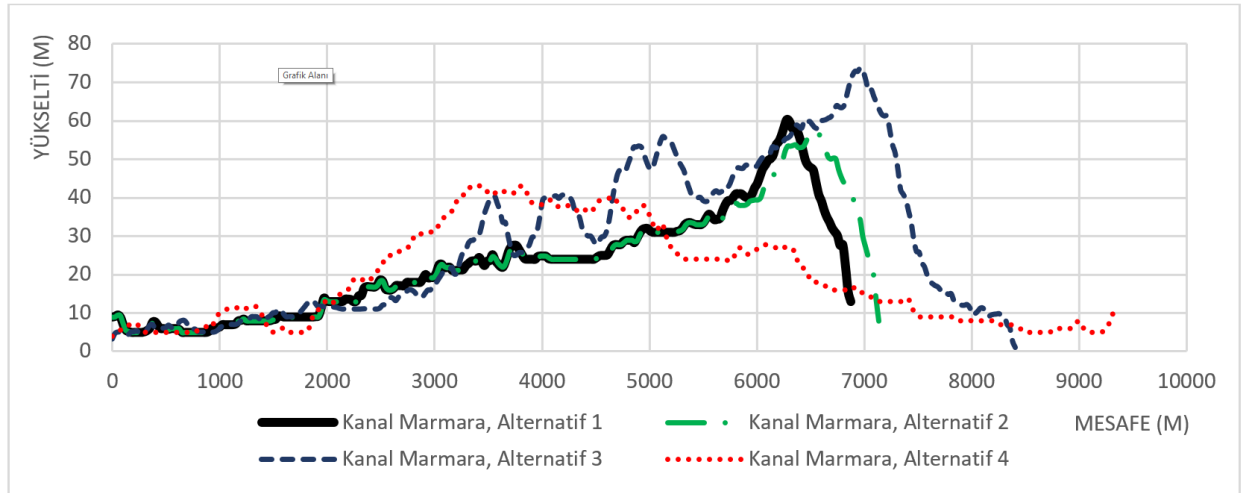


Figure 6. Cross-sections of alternative routes for Canal Marmara.

Table 2. Comparison of alternatives of Canal Marmara based on Canal Istanbul.

No	Canal Alternatives	Length (m)	Area (m ²)	Volume (m ³)	Areal ratio (%)	Volumetric ratio (%)
1	Canal Istanbul Alternative 4	43179	9427500	236858906	1	1
2	Canal Marmara Alternative 1	6877	1521250	35162031	0.16	0.15
3	Canal Marmara Alternative 2	7131	1583125	37914688	0.17	0.16
4	Canal Marmara Alternative 3	8404	1828750	53642188	0.19	0.23
5	Canal Marmara Alternative 4	9370	2048125	40628594	0.22	0.17

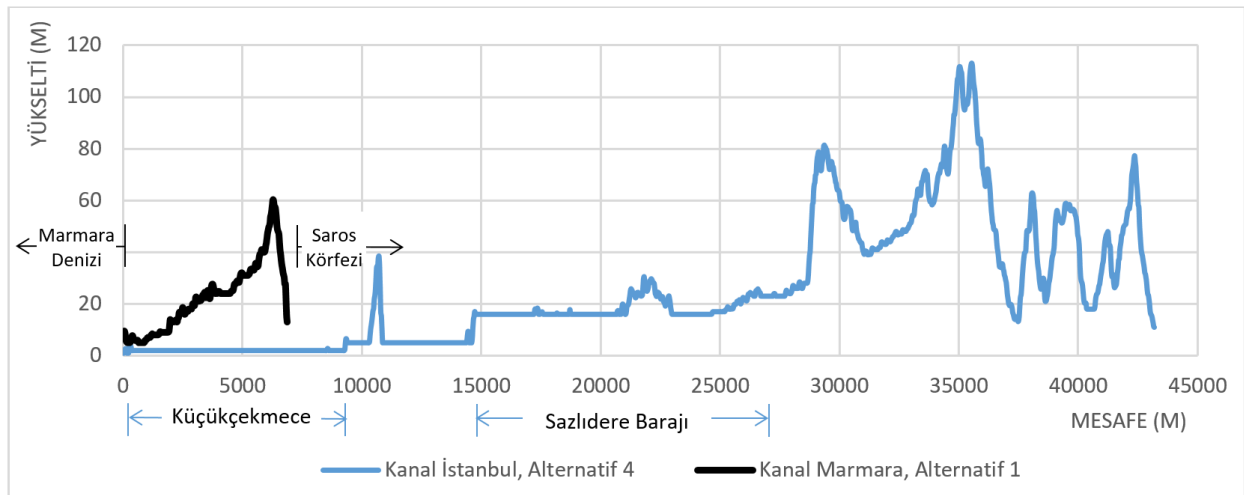


Figure 7. Canal Istanbul vs Canal Marmara

Political & Economic Aspects of the Canal Projects

World's maritime transport rose 11 billion tons in 2018 [1], before the pandemic of corona virus. This is over 80 % of the world's trade [14]. This importance on world's economy is well known so that international waterways attract special consideration around world. From this point of view, One Belt One Road project declared in 2013 to

revive the old-known "Silk Road" have heated discussions on world's economic balances and trades. One Belt One Road Project -- Silk Road Economic Belt and Maritime Silk Road initiatives-- are expected to reshape the international trade and shipping industry, opening or upgrading international trade routes. It is expected to spread on over 3 continents, 66 countries, 60% of the world's population, trillion dollars of gross domestic products and ¼ of world trades. Focusing maritime trades, Maritime Silk Road aims

alternative cheaper sea routes for shipping products to/from Central Europe from/to Central Asia, by changing the pattern of global ownership and control of infrastructure to facilitate new trade movements.

From this aspect and beyond, Canal Istanbul is at a highly strategic location. Its geostrategic importance makes these crazy actions more arguable, especially when historical,

ethnic and religious roots of Turkey are considered. Its location is inside a region connects Asia and South East Asian countries to Europe and European countries to Asia and Africa (Figure 8) via Bab al Mandab and Suez Canal, Hormuz Strait, Cebelitarik Strait, Don Volga Channel, Dardanelles and Bosphorus (Figure 8)

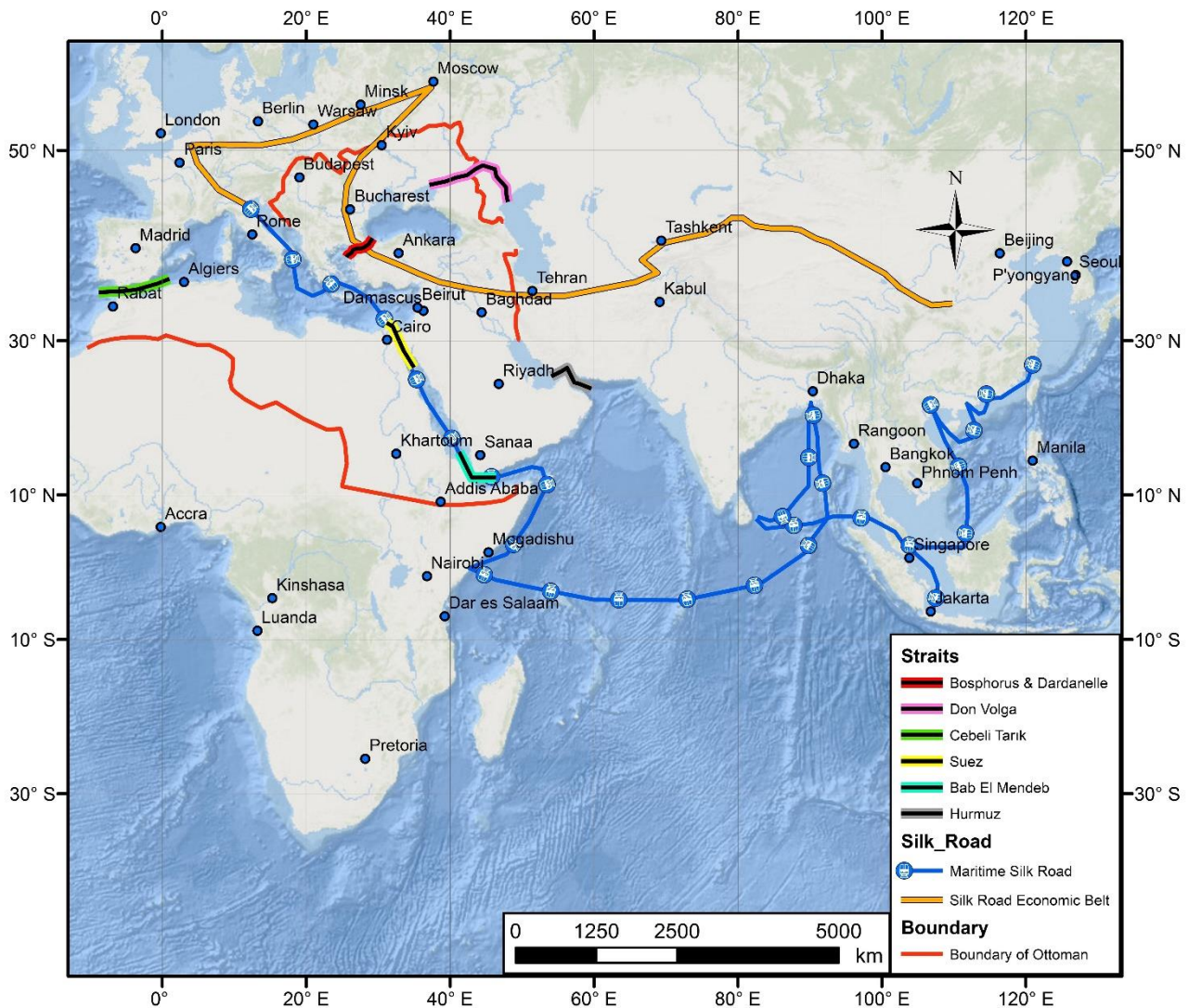


Figure 8. Geostrategic importance of straits -- Bosphorus and Dardanelles –

The waterway through Bosphorus and Dardanelles is the only passage for transits between Black Sea and Mediterranean Sea and thus overseas, with the numbers of vessels transiting 41103 and 43999 and the volume of transits 613088166 gt and 849140218 gt, respectively for 2018 [15]. Transits in addition to inner city ferryboats and tours --2500 in a day-- between two sides of Istanbul --Asia and Europe-- create massive traffic volume, risking the safety of Istanbul. On this truth, the prime minister of the time started a campaign for a Canal dividing the city second time but with an artificial waterway. A majority of public has called the campaign as The Crazy Project.

Launching the Campaign on Canal Istanbul on April 27, 2011, Turkey Prime Minister expressed the idea of building a new canal that will safeguard Istanbul from ship accidents. Creating new cities, harbors, marinas, the project has arguably a great potential to contribute to the economy of Istanbul as well as of Turkey. It has been receiving wide public reactions in a short time. Its expected cost, its feasibility, its state of regulatory compliance, its environmental impacts have been being discussed by people. Together with changing details depending on the progress in the processes, the cost of the project is changing. Contrary to initial estimations of 20 to 80 billion dollar

argued by different organizations through media, The Ministry of Environment and Urbanization declared on October, 2019 that the cost of the project revised to 75 billion TL (12.74 billion \$) from the previous declared cost -- 60 billion TL-- (10.18 billion \$). Identification of the extent of the project accounts for the difference between cost estimations. 75 billion TL seems only for the Canal and its facilities while constructing cites looks more beyond this budget.

Revenue estimations for the project is also questionable. Estimations runs up around 10 billion \$ per year, while there is a strong argument that any income from transits through Canal Istanbul is not possible due to Montreux Convention. Montreux imposes no charge or taxes to be levied by Turkish authorities except for sanitary controls, light and channel buoys and lifesaving services. Note that Montreux allows charging a one-way fee for the services unless a voyage takes no longer than six months.

There is no publicly available revenue data for Turkish Straits. Nonetheless, average potential revenues from Canal Istanbul, which is to bypass Bosphorus, and Canal Marmara, which is to bypass Dardanelles, may be estimated by means of shipping statistics. Accordingly, using the numbers and tonnages of transits provided by The Ministry of Transportation and Infrastructure and Suez Canal Authority [12,13], revenue estimations were made for the vessel traffic of 2017 --before the pandemic--. Revenues of Bosphorus and Dardanelles were estimated based on the service fees in accordance with Montreux Convention, for different directions of navigation as well as for the assumptions of Turkish and foreign flag vessels [16,17].

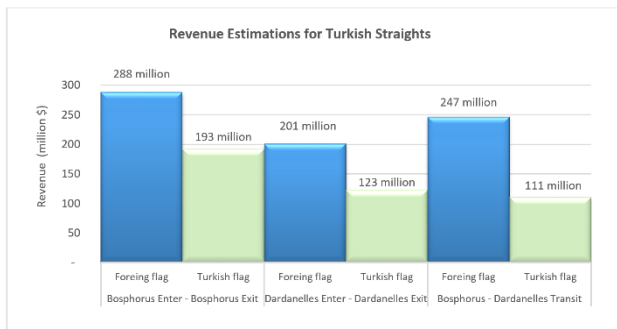


Figure 9. Revenue estimations for Turkish straits.

Figure 9 indicates that total maximum revenue for the observed vessel traffic is possible for a Bosphorus Enter-Bosphorus Exit Navigation. When calculations are implemented for transits throughout the route of Bosphorus-Marmara-Dardanelles, estimated revenues are about 111 million \$ for the assumption of Turkish flag vessels and 247 million \$ for the assumption of foreign flag vessels, regarding a one-way traffic, which is allowed to charge by Montreux Convention.

Contrary to transits through the straits --Bosphorus and Dardanelles--, Canal Istanbul as well as anticipated Canal

Marmara may apply different charges at international rates, ignoring Montreux Convention based difficulties on diverting the ship traffic of Bosphorus into Canal Istanbul and the ship traffic of Dardanelles into Canal Marmara. Based on the shipping statistics of Bosphorus and Dardanelles [12,15] and using the tariff of Suez Canal for transits [13], the potential revenue from the canals --Canal Istanbul and Canal Marmara-- were calculated. Revenue of Suez Canal was calculated based on the shipping statistics and Tariff of Suez Canal [13,18]. Revenue estimations are compared in Figure 10.

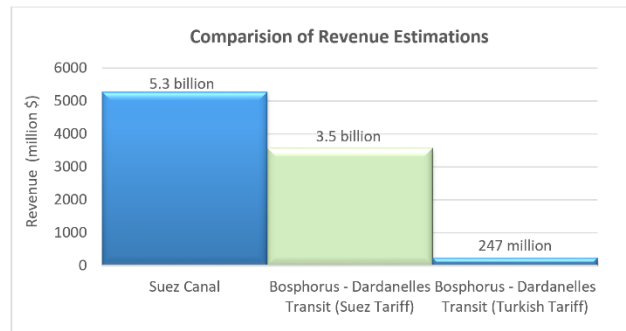


Figure 10. Revenue estimations for transits through Bosphorus-Marmara-Dardanelles.

Figure 10 shows potential revenues from the Canals, in comparison with the straits. Estimated revenue for transits through Canals (i.e. the route of Canal Istanbul, Marmara, Canal Marmara) is 3.5 billion \$, when Suez tariff is applied. Contrary to one-way pricing applied for the straits, two canal pricing and/or two-way pricing may theoretically be applied for the Canals, so as to double and/or quadruple charges of transits, if vessels could be diverted to the canals instead of the straits. Provided that the target cost -- 75 billion TL (12.74 billion \$) -- of The Ministry of Transportation and Infrastructure is attained, Canal Istanbul Project is likely to be profitable and return its investment in several years. This would prompt a Canal on Gallipoli -- Canal Marmara-- which would cost only 15% of Canal Istanbul. However, the provision of Montreux Convention conditions the successes of all these economic scenarios.

Legal Aspect of Canal Istanbul

The regime of transits through Turkish Straits is regulated by Montreux Convention, signed on July 1936. There is a freedom of transit and navigation without any formalities, charge or tax, in accordance with the convention [19]. However, there are some limitations for War ships during peace and war times for Black Sea and Non-Black Sea Powers.

For merchant vessels, in time of peace, a complete freedom of transit and navigation in the straits is provided, by day and by night, under any flag with any kind of cargo. The only tax and charge to be levied by Turkish government are for a) Sanitary control stations b) Lighthouses, light and

channel buoys and c) Lifesaving services [19]. Accordingly, the total applicable charge for each ton of net register tonnage is 0.075 Francs gold for sanitary control stations, 0.42 Francs gold (below 800 tons) and 0.21 Francs gold (above 800 tons) for lighthouses, light and channel buoys and 0.1 Francs gold for life saving services [19]. These shall apply in respect of a return voyage through straits --either only for a voyage of Dardanelles-Marmara-Bosphorus or for a voyage of Bosphorus-Marmara-Dardanelles.

Despite the fact that the charges above are in Francs gold, a fixed exchange rate was applied for years [20]. Therefore, the revenues of straits decreased dramatically. In 1983, as a substitute of Francs gold -- 0.290322 g fine gold--, the exchange rate between gold and USD --1 g gold =2.78 USD-- is used for charging transits, upon a secret ministerial decision No. 6138. However, such a tariff could be applied only with 75 % discount, as a result of international political pressures [20]. Today's value of 1g fine gold is around 47.5 USD. This corresponds to 17 times lost in revenue.

In time of war, If Turkey is belligerent, merchant vessels not belonging to countries at war shall enjoy freedom of transit and navigation unless assisting enemy [19].

For war vessels, in time of peace, light surface vessels, minor war vessels and auxiliary vessels belonging both Black Sea and non-Black Sea Powers have a freedom of transit through straits without paying any taxes or charges, provided that a prior notification is given to Turkish Government by diplomatic channel 8 days earlier than a transit for Black Sea Powers and 15 days earlier than a transit for Black Sea Powers. Transits should begin daytime [19]. Capital ships of black Sea powers with high tonnages may pass through straits on condition of singly escorted not more than two destroyers [19]. Submarines of these powers must pass straits singly and, on the surface, and travel by day [19]. Total tonnage of all foreign naval forces transiting in straits shall not exceed 15000 tons and not comprise more than 9 vessels [19]. Any aircraft carried on these vessels shall not be used in no circumstance [19]. Total tonnage of Non-Black Sea Powers in Black Sea shall not exceed 30000 tons. However, this limit shall be increased by the same amount up to 45000 tons if the tonnage of the strongest fleet in the Black Sea exceeds by at least 10000 tons the tonnage of the strongest fleet in that sea at the date of signature. Total tonnages of Non-Black Sea powers to be in Black Sea shall be lower than two-thirds of this limit. War vessels of Non-Black Sea Powers shall remain in Black Sea less than 21 days [19].

In time of war, If Turkey is not belligerent, warships have a freedom of transit and navigation through straits, under the same conditions as in time of peace. However, vessels of belligerent powers shall not pass through straits. [19]. If Turkey is belligerent, passage of warships is entirely left to discretion of Turkish Government [19]. During an imminent war threat, Turkey may also apply his decision on passage [19].

For civil aircrafts, upon a prior notification, Turkish government will indicate available air routes between Black Sea and Mediterranean Sea, outside of the forbidden zones to be established in straits [19].

The most controversial consequence of the convention arises for non-riparian super powers of the world [21]. They are not able to pass through straits due to the weight limitations of the conventions. Especially, aircraft carriers, submarines, and other high tonnage war vessels are not able to use straits in accordance with the convention. The 21-day time limitation is the other disputed issue for non-riparian countries.

The convention intends to remain in force for 20 years, however, the principle of the freedom of transit and navigation is presumed to continue without limit of time. It would and will continue in force until two years of any notification of denunciation by contracting parties [19]. If upon such a notification, Montreux Convention is denounced in accordance with the provision of Article 28, a conference needs to be assembled to conclude of new Convention [19].

Environmental Impacts of the Project

By Turkish Government, the aim of Canal Istanbul Project is defined as "An alternative Canal Project is planned to protect historical structure of Bosphorus and human life" in the Application Document for Environmental Impact Assessment [11]. It is noted there that "Canal Istanbul Project is not only a transportation project but also includes harbors, marines, islands, coastal earthworks, coastal structures, and others sub and super structures."

The studies implemented by The Ministry of Transportation and Infrastructure to estimate possible environmental impacts of Canal Istanbul are summarized below [11]. These studies are primarily; for clarification of the alignment of the route, determination of socio-economic impacts of the project on logistics and transportation. Field investigations consist of geologic, geo-seismic, hydro-geologic, tsunamic, wave and earthquake related studies as well as marine studies including currents, sediment, temperature, salinity, turbidity and pollution. Model studies consist of hydrodynamic, water quality, ground water and sediment transportation studies.

Due to the fact that all these studies have been being implemented, disputes over environmental concerns are never ending. Argument of these concerns are mainly related to Canal Istanbul's impacts on hydrology, marine ecology, agriculture, population and city life.

From the hydrologic view, Sazlıdere Dam and Terkos (Durusu) Lake are two important fresh water resources laying on the route of the canal. Suppling 3.3% of water requirement of Istanbul (10% of those of European-side), Sazlıdere Dam is planned to be completely removed by the project. Suppling 3.3% of water requirement of Istanbul (10% of European-side). Likewise, Terkos Lake is sensitive to salination due to sea water to be diverted inside the Canal Istanbul. It supplies 8.6% of water requirement of Istanbul

(25 % of European-side). Groundwater resources are also under the risk of salination. Once groundwater is beginning to salinate due to the intrusion of sea waters, the process of salination cannot be easily stopped. For such a case, the degree of damage may not be estimated accurately even by elaborative field and laboratory studies. Thereafter, next generations may face a risk of loss their source of habitat.

Possible changes that Canal Istanbul may create on marine environment is another problematic issue. Characteristics, currents and level differences of the Black Sea and Marmara Sea are main actors of marine problems. Bosphorus conveys high nutrient, high oxygen, less saline and high-level Black Sea surface waters to the surface of Marmara, while there is a little amount of reverse bottom flows, carrying low nutrient, low oxygen, high salinity and low-level Marmara waters to Black Sea. Same behavior might be expected for the new channel, bottom of which is only 25 m below from sea surface and is very higher than the bottom of Marmara and Black Seas. Flowing into Marmara Sea, Black Sea surface waters are of high oxygen and get saturated by the absorption of atmospheric oxygen. However, it cannot pass down and mix into Marmara Sea's low level, high dense layer, which is originated from Mediterranean Sea waters. Thus, a deposition of excess amount of nutrient into Marmara Sea by Canal Istanbul would bring production of microorganism, organic matter, depletion of oxygen and finally organic decomposition and demineralization. This process will be believed to lead the low level high dense layer of Marmara to fully oxygen depleted. Although there is little amount of bottom flows pushed backward to Black Sea through Bosphorus and there are some mixing between upper and lower layers of Marmara Sea due to the water jet of Bosphorus, Canal Istanbul would increase depression on Marmara Sea. It is considered that Marmara would eventually have offensive sewage-like odor. Nonetheless, it is not easy to estimate full effects of Canal Istanbul flows into Kucukcekmece Lake, Marmara Sea, Marmara currents and aquatic life.

The project will bring population growth around region, creating a center of attraction. Considering high populated impermeable land surface of Istanbul, it has a potential to create a concrete jungle, if the processes cannot be managed properly [22]. According to last declarations from the Ministry of Environment and Urbanization, such a danger is foreseen so that planned cities will be low story and less populated (500 thousands which is far lower than the previously declared 1.2 million). Nonetheless, new cities mean new highways, bridges, impermeable areas and degradation of agricultural areas and water basins.

The size of the construction is so high as to affect the city life. The construction of the canal will divide European Site of Istanbul into an isolated island and a peninsula. Heavy traffic will continue around the construction over at least 4 years. 1 billion m³ earthwork is roughly 25000 trucks in a day. Environmental impacts of such a traffic on emissions of aerosols, fumes, noise, odour, dust etc. seems to be extreme. Cancellation of earth fill islands seems reasonable regarding construction pollution on Marmara Sea and traffic to be created in highly populated Kucukcekmece.

Results and Discussion

Istanbul is in a strategic location connecting Black Sea to international waterways through Cebelitarik (Gibraltar), Suez and Bab El Mendep. Istanbul is also in a key location for Silk Road Economic Belt and Maritime Silk Road initiatives, aiming to revive international trade from/to Asia to/from Europe and world. Bosphorus, the strait dividing Istanbul into two parts --European and Anatolian sides -- controls maritime transportation of Black Sea. Dardanelles is Turkey's other important strait, providing passage for vessels coming from Black Sea and going to Aegean Sea and then Mediterranean Seas. Main problem bringing Canal Istanbul into attention of Turkish Government is the safety of Istanbul for ship transits. It is expected that Canal Istanbul relieves the traffic on Bosphorus and protect Istanbul from ship accidents, ensuring new facilities such as harbors, marines, islands, coastal earthworks, coastal structures and two smart cities.

From safety aspect, the project provides an alternative sea passage between Black Sea and Marmara Sea. It keeps Istanbul safe from ship accidents and returns its investment in a several years, which sounds plausible. Building a new and safe international sea passage would be a future vision of the country, enhancing infrastructure via smart cities and other facilities. However, complications originated from international laws and conventions and potential environmental impacts make things sophisticated.

Navigation through the straits is regulated by Montreux Convention. Recognized by all contracting parties, the convention stands upon the principle of freedom of transits and navigation through the straits. The success of the Canal Istanbul relies therefore on if ships can be diverted to Canal Istanbul. The one way of doing this is denunciation or amendment of Montreux Convention. If a denunciation would be the case, a conference needs to be assembled to conclude a new convention [19]. If a proposal for amending some provisions of the convention would be suggested, it should be done at the end of each five-year period from the registration of the convention [19]. Montreux Convention would remain in force for 20 years. However, it is still in force since no High Contracting Party have given any notice of denunciation [19]. On a conference to be assembled upon such a notice, new problems may arise for the freedom of transits of merchant and war vessels. It is possible to see new parties willing to participate to this conference, especially world's leading powers of Non-Black Sea countries. Negotiations therein may potentially create new conflicts among leading Powers and Black Sea countries. However, there is somehow always chance to find a solution, with consents of all parties, if the negotiations can be managed successfully.

The spokesman of Turkish presidency declared in December 2019 that "Canal Istanbul is not a project to revoke Montreux Convention. Straits are under the Authorization of Turkey, in respect of Montreux Convention and inside our geography", however public sensation on the future of the convention is still alive.

Montreux Convention grants merchant vessels to enjoy complete freedom of transit and navigation, except merchant vessels of the countries that are not at war with Turkey [19]. It allows charging them for some service fees, only for one direction. It might be possible make an adjustment for transits, by updating the value of French gold to today's rate (from its 1983's value to Today's value). This will neither violate nor need denunciation or amendment the convention, but increase 17 times of revenues from transits. Montreux Convention have some weight and time limitations for the transits of warships of Non-Black Sea Powers [19]. Beyond these limits, during peace, Turkey has no practical control over war vessels. During war, if Turkey is belligerent, all vessels or, if else, the vessels belonging to belligerent powers may not pass through the straits, depending on Turkey's consent [19].

In fact, Montreux Convention comprises all of Bosphorus, Dardanelles and Black Sea, so that Canal Istanbul will not provide a full maritime control over transits and navigation. Strictly speaking, a one more canal on Gallipoli --Canal Marmara-- is needed to have a maritime control over transits along Aegean Sea to Black Sea. As long as Montreux Convention is in force, the control provided only by Canal Istanbul will be a Gallipoli bounded control, for which minimum criteria suggested by Montreux Convention must be satisfied through the route of Dardanelles-Marmara Sea- Bosphorus. Transits and navigation above the limits of the convention may be then diverted to Canal Istanbul. Therefore, Canal Istanbul may primarily affect the time and somehow weight limitations of foreign naval forces to be in Black Sea [19], since there is a freedom of transit and navigation for merchant vessels [19]. On the other hand, a full control above the limits of Montreux Convention may be provided only by the route of Canal Marmara- Marmara Sea-Black Sea, upon construction of Canal Marmara as a next step of Canal Istanbul.

If Montreux Convention will expire at the cost of international conflicts, there will be no practical advantage of such an artificial canal -- Canal Istanbul and Canal Marmara--, on controlling transits and navigation, but on reducing shipping traffics in the straits. On other hand, if Montreux Convention will be in force after the construction of Canal Istanbul and anticipated Canal Marmara, different charges may then be applied for different routes. In such a case, Dardanelles-Marmara Sea-Bosphorus would be charged in accordance with Montreux but by an updated exchange rate. Canal Marmara-Marmara Sea-Canal Istanbul route (or Dardanelles-Marmara Sea- Canal Istanbul route, if only Canal Istanbul is constructed) would charge for lower rates than those of the updated Dardanelles-Marmara Sea-Bosphorus rates, thus navigation may be diverted to outside of Bosphorus and Dardanelles (or outside of Bosphorus if only Canal Istanbul is constructed). Canal Marmara may cost less than 15% of Canal Istanbul and have potential to increase/double revenues form

transits, depending on the denunciation or amending of Montreux Convention.

Considering all these uncertainties, possible scenarios for the future of transits and navigation through Turkish straits and prospective canals are summarized in Table 3, based on control over transits, investment, revenue, and environmental impacts. Details on estimations and assumptions are given in Section 3.

Evaluation of these scenarios assures that the success of the project will be driven by political decisions on financial model to be used, future of Montreux Convention and environmental impacts of the project. President Erdogan declared in his meeting on 27 December 2019 that Canal Istanbul will be done, regardless of "if you want it or not!" while the Mayor of Istanbul informed that Municipality of Istanbul renounce the protocol of Canal Istanbul, emphasizing if Canal? or Istanbul? Accordingly, Should Canal Istanbul Project need to be constructed, its environmental impacts must be minimized to leave a livable city for next generations. Effective solutions should be suggested especially for the sustainability of water resources, the protection of aquatic and terrestrial life, the prevention of farmland degradation and environmental pollution. Population growth and traffic increase should be kept limited.

Water resources on the historical peninsula is limited, having clean fresh water is getting more difficult day by day. Therefore, Canal Istanbul Project will bring a new stress on City's water demand, by removing Sazlıdere Dam, which supplies 10 % of the water requirement of the European side of Istanbul, and by risking to salinate the waters of Terkos Lake, which supplies 25 % of the water requirement of the European side. 65 percent of Istanbul's population lives in Europe, but most of the closest fresh water resources available is in Anatolia, specifically in Melen Stream, 190 km far from the European side.

Changes of Marmara Sea's surface and bottom currents should be well studied, to protect aquatic life and sea environment. The flows into or out of Marmara through Canal or Canals should be examined so as to protect flora and fauna and thus to keep ecological balance of Marmara Sea. Exclusion of Marmara Islands from the Project will reduce environmental pressures on Istanbul as well as the cost of the project. Upgrade or development of new ports may improve logistics.

Smart cities to be constructed should be evaluated in unity with the rest of the Istanbul so as to transform older settlements. Without collaboration with Municipality of Istanbul, such smart cities seem to be problematic to build. They should be evaluated in a way to keep Istanbul green, livable, accessible. Pollutions and heavy traffic driven by the construction should be minimized and controlled. Finance model of the construction is another problem that needs to be solved.

Table 3. Scenarios for the future of straits.

Scenarios	Route		Control over straits	Investment, USD	Revenue, USD	Shipping Safety & Environmental Concerns	Explanation		
	Route	Montreux							
1	Dardanelles - Bosphorus	In force	Merchant vessels	Peace time	Zero	247 million	Risk of ship or tanker accidents around Bosphorus.	Concerns for shipping safety in Bosphorus	
				War time					In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)
			War vessels	Peace time					In accordance with Montreux (Tonnage and time limitations)
				War time					In accordance with Montreux (Same as peace time, If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war)
2	Dardanelles - Bosphorus	In force with increased rates	Merchant vessels	Peace time	Zero	17 times 247 million	Risk of ship or tanker accidents around Bosphorus	Possible international pressures for a few years	
				War time					In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)
			War vessels	Peace time					In accordance with Montreux (Tonnage and time limitations)
				War time					In accordance with Montreux (Same as peace time, If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war)
3	Dardanelles - Bosphorus	Denounced	Merchant vessels	Peace time	Depends on policy	Contingent	Depends on policy	International conflict	
				War time					Not clear
			War vessels	Peace time					Not clear
				War time					Not clear
4	Dardanelles - Canal Istanbul	In force	Merchant vessels	Peace time	12.5 Billion	Lower than 247 million (to attract to Canal Istanbul)	Decreased risk of ship or tanker accidents around Bosphorus	Governmental subsidy	
				War time					In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)
			War vessels	Peace time					Gallipoli bounded control above the limits of Montreux
				War time					Gallipoli bounded control If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war
5	Dardanelles - Canal Istanbul	In force with updated rates	Merchant vessels	Peace time	12.5 Billion	Up to 3.5 billion (Suez tariff)	Low risk of ship or tanker accidents around Bosphorus. Environmental problems in Istanbul, brought by project	Low fee and less formality policy to divert to Canal Istanbul	
				War time					In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)
			War vessels	Peace time					Gallipoli bounded control above the limits of Montreux
				War time					Gallipoli bounded control If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war

Table 3 continue. Scenarios for the future of straits.

Scenarios		Control over straits		Investment, USD	Revenue, USD	Shipping Safety & Environmental Concerns	Explanation	
Route	Montreux							
6 Dardanelles - Canal Istanbul	Denounced	Merchant vessels	Peace time	Not clear	12.5 Billion	Up to 3.5 billion (Suez tariff)	No risk of ship or tanker accidents around Bosphorus Environmental problems in Istanbul, brought by project	International conflict
			War time	Not clear				
		War vessels	Peace time	Not clear				
			War time	Not clear				
7 Canal Marmara - Canal Istanbul	In force	Merchant vessels	Peace time	In accordance with Montreux (No Control)	12.5 + (0.15 x 12.5) Billion	Lower than 247 million (to attract to Canals)	Decreased risk of ship or tanker accidents around Bosphorus and Gallipoli Environmental problems in Istanbul and Gallipoli, brought by projects	Governmental subsidy
			War time	In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)				
		War vessels	Peace time	Full control above the limits of Montreux, If Turkey is not in war				
			War time	Full control above the limits of Montreux, If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war				
8 Canal Marmara - Canal Istanbul	In force with increased rates	Merchant vessels	Peace time	In accordance with Montreux (No Control)	12.5 + (0.15 x 12.5) Billion	Up to 3.5 billion (Suez tariff)	Low risk of ship or tanker accidents around Bosphorus and Gallipoli Environmental problems in Istanbul and Gallipoli, brought by projects	Low fee and less formality policy to divert to Canals
			War time	In accordance with Montreux (for vessels of countries at war with Turkey)				
		War vessels	Peace time	Full control above the limits of Montreux, If Turkey is not in war				
			War time	Full control above the limits of Montreux, If Turkey is not in war; Full control, If Turkey is in war				
9 Canal Marmara - Canal Istanbul	Denounced	Merchant vessels	Peace time	Not clear	12.5 + (0.15 x 12.5) Billion	Contingent	Risk of ship or tanker accidents around Bosphorus and Gallipoli depending on policy Environmental problems in Istanbul and Gallipoli, brought by projects	International Conflict
			War time	Not clear				
		War vessels	Peace time	Not clear				
			War time	Not clear				

Finally, the future of Canal Istanbul project should be decided in a consensus. This would provide its success. Such huge projects may take years and needs political continuity and decisiveness to complete. In case of any revision on Montreux Convention, an international consensus should be provided without causing any international conflict. The project should be financed in a

manner that may not waste public sources, so that an appropriate financial model such as build-operate-transfer and public private collaboration should be determined. All processes should be elaborately inspected throughout the project, regarding environmental concerns.

Conclusion

80% of world trade is transported via waterways. Turkey is in an important location for International ship traffic, connecting Mediterranean Sea to Black Sea via the route of Dardanelles, Marmara Sea and Bosphorus. Considered with Chinese Marie Time Silkroad projects, Canal Istanbul promises to influence World Dynamics.

Canal Istanbul Project envisages a Bosphorus that is safe for transits and navigation. It aims to preserve historical and cultural heritages of Istanbul, diverting navigation into the Canal to relieve bilateral ferry traffic between two sides of Istanbul. A series of ambiguities related with the content, cost, revenue, environmental impacts, etc. are involved in the declared parts of the project. When environmental problems are ignored or considered to be somehow solved, the main factor leading to Project's goals is the return of investment which is bounded with the control of transits and navigation through the straits. Therefore, the success of the project depends mainly on the future of Montreux Convention which is the main regulatory text for ship traffic on Dardanelles, Marmara Sea and Bosphorus. Forcing navigation toward Canal Istanbul sounds impossible for now, since it needs denouncement or amendment the convention. Alternatively, a lower charge or fast service may be applied in Canal Istanbul for an encouragement to divert the navigation to the Canal. According to the convention, Turkish authorities can levy only some service charge and taxes for transits. However, updating the exchange rate of French gold pegged to the USD in 1983 may be an option that will ensure the charges to increase significantly without changing Montreux Convention, so that a discount charge policy may then be applied for transits through Canal Istanbul. Canal Marmara project which is not on the agenda of the country may thereafter be the further step of Canal Istanbul, allowing full maritime control (over the limits of Montreux) over transits at the cost of additional 15 % of Canal Istanbul.

Depending on the legislative process, contracting methods and environmental policy to be followed, each possible scenario on alternative routes to be created between Aegean Sea and Black Sea will result in different national and international consequences for the control of transits, profitability of canals and sustainability of environmental. From national perspective, two main difficulties emerge. 1) the profitability of the project, which is directly connected to any changes in legislative or administrative procedure currently applied based on Montreux Convention, and 2) environmental concerns that needs to be addressed by a collaborative approach of Municipality of Istanbul and Government. Financial model for construction should not merely rely on public resources. Environmental concerns should be evaluated comprehensively. Sustainability of water resources, sea and terrestrial life should be provided, while keeping the city livable and safe from the dangers of ship transits.

From international perspective, the results of the project may not be limited by not only Black Sea Countries, but also other countries that wish to access to Black Sea via the

Straits or Canals, especially world leading powers. Any changes in the Montreux Convention has a potential to spark a wide scale international conflicts, related to maritime trades and naval forces. Therefore, any regulations related to the transits of both Merchant and war vessels should be prepared by an international consensus, keeping safeguard Turkish straits and intended Canals, and leaving Black Sea in peace without triggering any conflicts throughout region and the world.

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] UNCTAD 2016, "Review of maritime transport, United Nations", United Nations Conference on Trade and Development, ISBN 978-92-1-112904-5N2016.
- [2] Stratejik Plan 2019-2023, "T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı", Ankara.
- [3] Kaya A. Kızıldere M. "İstanbul'daki içme ve kullanma suyu havzalarında arazi kullanımı", TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 2013.
- [4] ISKI 2019, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, www.iski.gov.tr, accessed @ December 2019
- [5] Altan T. "Marmara Denizi trafik akışı ve trafik düzeninin analizi", MS Thesis, Sea Transportation Engineering, İstanbul Technique University, Turkey, 2014.
- [6] Artuz L. "Marmara ve boğazların ekolojisi ve değişimler", B.Ü. Deniz Teknolojisi Sempozyumu, Su Altı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, İstanbul, 2003.
- [7] Meriç E. Yokeş M. B. Yümün Z. Ü. Eryılmaz M. Eryılmaz F., "Alien benthic foraminifers from turkish strait system", *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(1):68- 2018.
- [8] Inan Y., "The current regime of turkish straits journal of international affairs", 11-1, 2011.
- [9] Ekotrent 2019; Kanal İstanbul Projesi Nedir?, <http://ekonomi.haber7.com/>, accessed @ December 2019.
- [10] Yıldız D, "Karadeniz santrancında en stratejik hamle Kanal İstanbul", Ankara, 2018.
- [11] KIPÇED 2017, "Kanal İstanbul Projesi Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası", Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Alt Yapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Çınar Mühendislik, 2017.

- [12] UDHB 2018, “The ministry of transportation and infrastructure, shipping transit statistics”, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx, accessed @ June 2019.
- [13] SCNS 2018, “Suez Canal Authority, Suez Canal Navigation Statistics”, <https://www.suezcanal.gov.eg/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx>, accessed @ June 2018.
- [14] WST 2019, “Word Sea Trades ISL2019”, Shipping Statistics and Market Review.
- [15] DTİ 2018, “Deniz Ticareti İstatistikleri 2018, Deniz Taşıtları, Denizyolu Taşıma ve Teşvik İstatistikleri”, T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, <http://www.denizticareti.gov.tr/>, Ankara.
- [16] CTS 2019, “Calulator Turkish Straits”, <https://lethagencies.com/turkish-straits/calculator-turkish-straits>, Accessed June@ 2019
- [17] KGM 2019, “Fener ve Tahlisiye Ücreti Hesaplayıcı”, Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/fener_ve_tahsiliye_ucreti_hesaplayici, accessed @ July 2019
- [18] SCR, 2018, “Egypt Maritime Transport: Suez Canal Revenues: Annual”, Suez Canal Authority, <https://www.ceicdata.com/en/egypt/maritime-transport-revenues/maritime-transport-suez-canal-revenues-annual>, accessed @ July 2019
- [19] Montreux Convention 1936, Convention Regarding the Regime of Straits Signed at Montreux, July 20.
- [20] Yayıcı C. “An assessment on the implementation of gold franc in the framework of montreux convention”, *Bilge Strateji*, Vol 5, No 8, 149-167. 2013.
- [21] Akkaya M. A., “Canal Istanbul project and the effect of our relationship with the montreux convention in coastal states of black sea, OUSBAD”, Türk Deniz Ticareti Sempozyumu VII: Karadeniz Limanları Sempozyumu, Ordu, 2015.
- [22] Geymen A. Baz I., “Monitoring urban growth and detecting land cover changes on the Istanbul metroplitan area”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, September 30-October 2, KTÜ, Trabzon, 2007.



Araştırma Makalesi/Research Article

Islak ve Kuru Ortamlarda Kullanılan Zemin Kaplamalarının Güvenlik Katsayılarının K-Ortalamlar ve Karar Ağacı Yöntemleriyle Değerlendirilmesi

*Evaluation of the Safety Coefficients of Floor Coverings Used in Wet and Dry Environments by K-Means and Decision Tree Methods*Fatih Karataş^{1*}, Ali Sarıışık², Gültekin Coşkun³¹ Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa 205179006@ogrenci.harran.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8328-8550>² Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa sariisik@harran.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7698-6134>³ Cumhuriyet Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Sivas cgultekin@cumhuriyet.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4182-2372>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 13 Ekim 2021
Revizyon 6 Aralık 2021
Kabul 29 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Zemin kaplamaları, Kayma direnci
K-Ortalamlar Yöntemi, Karar
Ağacı Yöntemi

Topluma açık ve kapalı alanlarda insanların rahat hareket edebilmeleri için zemin kaplamalarının kaymaz özellikte olması istenmektedir. Bu çalışma kapsamında 7 farklı kamu kurumunda 5 farklı alanda (Giriş, Koridor, Oda, Merdiven, Lavabo) zemin kaplamalarının kuru ve ıslak ortam dinamik sürtünme katsayıları DCOF (μ) GMG 200 test cihazı kullanılarak DIN 51131:2014-03, EN 13893 ile TS CEN/TS 16165 Ek- D standartlarına göre ölçülmüştür. Aritmetik ortalama ile elde edilen dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) değerleri RapidMINER programında K-Ortalamlar Yöntemi kullanılarak gruplanmış, oluşan küme grupları sınır değerleri Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar günümüzde Alman Kaza Sigortası Sisteminde kullanılan ve güncel DIN 51131:2014-03, EN 13893 ve TS CEN/TS 16165 Ek- D Standartlarında geçen Wuppertaler Tabelası kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu kamu kurumlarına ait kaymazlık risk haritası çıkarılmış olup, en güvenli kurum K5 SGK kurumu olurken en güvensiz kurum ise K3 Ana okulu olarak belirlenmiştir. 7 farklı kamu kurumunda da zemin kaplaması olarak kullanılan seramik zemin kaplamalarının sürtünme katsayılarının düşük olduğu tespit edilmiş ve bu zemin kaplamalarının dinamik sürtünme katsayısı yüksek malzemelerle değiştirilmesi veya gerekli önleyici ve koruyucu tedbirlerin alınması önerilmiştir.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 13 October 2021
Received in revised form 6
December 2021
Accepted 29 December 2021
Available online 31 December 2021
Keywords:Floor coverings, Slip resistance,
K-Means Method, Decision Tree
Method

Floor coverings are required to be non-slip so that people can move freely in public and closed areas. Within the scope of this study, dry and wet environment Dynamic Friction Coefficients of floor coverings DCOF (μ) are measured in 5 different areas (Entrance, Corridor, Room, Staircase, Sink) in 7 different public institutions by using GMG 200 test device according to DIN 51131:2014-03, EN 13893 and TS CEN /TS 16165 Annex-D standards. The dynamic friction coefficient DCOF (μ) values obtained with the arithmetic mean were grouped by using the K-Means Method in the RapidMINER program, and the boundary values of the cluster groups formed were determined by using the Decision Tree Method. The results were evaluated using the Wuppertaler Signage which is currently used in the German Accident Insurance System and is in the current DIN 51131:2014-03, EN 13893 and TS CEN/TS 16165 Annex-D Standards. As a result of the evaluation, an anti-slip risk map of public institutions was drawn and the safest institution was determined as K5 SGK institution, while the most unsafe institution was determined as K3 Kindergarten. It has been determined that the friction coefficients of ceramic floor coverings, which are used as floor coverings in 7 different public institutions, are low and it is recommended to replace these floor coverings with materials with high dynamic friction coefficient or to take necessary preventive and protective measures.

Doi: 10.24012/dumf.1051498

* Sorumlu Yazar

Giriş

İnşaat sektöründe farklı ortamlar için farklı türde ve özellikle çeşitli zemin kaplamaları kullanılmaktadır. Özellikle insanların sıklıkla hareket halinde buldukları alanların zemin kaplamalarının kaydırmaz özellikte olması gerekmektedir. Bu zeminler üzerinde meydana gelebilecek kayma ve düşme kazalarının önlenmesi için tasarım öncesi zemin kaplaması olarak kullanılacak malzemelerin kayma risklerinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Dünya çapında yapılan araştırma istatistiklerine göre kayma ve düşmeler nedeniyle meydana gelen yaralanma vakaları trafik kazaları sonucu meydana gelen yaralanma vakalarından ardından ikinci sırada yer almaktadır. Meydana gelen her 5 kazadan biri kayma ve düşme sonucu meydana gelmektedir. Amerika'daki kayma ve düşme vakaları incelendiğinde yılda ortalama 9 milyon vaka meydana gelirken, günlük 25.000 kişi kayma ve düşme vakaları nedeniyle yaralanmakta, 55 kişi hayatını kaybetmektedir. Yaralanma vakalarının %55'i 40 yaşın üstündeki insanlarda, %35'i çocuklarda görülmektedir. İş dünyasında kayma ve düşme vakaları sonucu meydana gelen maddi kaybın dünya ekonomisindeki payı 110 Milyar Euro iken ülkemizde bu kayıp yılda 554 Milyon Euro'dur [1].

SGK 2017 verilerine göre 2010 yılında 5510 sayılı kanunun 4-1/a maddesi kapsamında aktif sigortası bulunan çalışanların yaşadığı 62.903 iş kazasının 8992'sini kayma ve düşme vakaları oluşturmaktadır [2].

Resmi Gazete 'de 07 Temmuz 2015 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe giren 5378 sayılı Engelliler Hakkında Kanun ve son yıllarda çıkarılan yasa ve yönetmeliklerle birlikte zemin kaplamalarında kullanılacak malzemelerinin kuru, ıslak ve eğimli ortamlarda kaymaz özellikte olması istenmektedir. Ayrıca, üreticilerin son kullanıcıya ürünlerinin kaymaz özelliklerini gösteren işaret veya sınıflamaları bildirmeleri zorunlu kılınmıştır. Bu nedenle inşaat ve mimari projelerde kamu kurum ve kuruluşları başta olmak üzere özel sektör ve belediyelerin bu mevzuata uyması zorunlu hale getirilmiştir [3], [4].

Mevzuata aykırı yapılan zemin kaplama tasarımları sonrası meydana gelen kayma ve düşme vakaları sonucunda oluşan kazalarda davalar açılmakta ve yüksek miktarlarda tazminatlar ödenmektedir.

2010 yılında bir mağazada düşerek yaralanan bir kişinin tüketici mahkemesine açtığı dava sonucu işyeri toplamda 8 bin 275 TL tazminat ödemek durumunda kalmıştır [5].

2017 yılında İzmir'de çalıştığı hastanede ıslak zeminde düşen sağlık çalışanı çalıştığı ortamın güvenli olmadığı gerekçesiyle açtığı davayı kazanarak tazminat almaya hak kazanmıştır [6].

2019 yılında İzmir'de gezmeye gittiği alışveriş merkezinde ıslak zemin nedeniyle kayıp düşen spor eğitmeninin yaralanması nedeniyle açtığı dava sonucu 12 bin 275 TL tazminat kazanmıştır [7].

Yeni çıkan kanun ve yönetmeliklere göre tüm özel ve Kamu kurumlarında kullanılan zemin kaplamalarında meydana gelen kayma ve düşme vakalarından hukuken yöneticiler sorumludur. Tüm Özel ve Kamu kurumlarında zemin kaplaması olarak kullanılan malzemelerin, kullanıldıkları

alanlarda ıslak ve kuru ortamlar için kayma riskinin belirlenerek güvenlik sınıflandırmasının yapılması kaymazlık risk haritasının çıkarılması gerekmektedir. Bu tarz binalar inşa edilirken zeminlerde kullanılacak malzemelerin ıslak ve kuru ortamlar için standart ve yönetmeliklere uygun kaydırmaz özellikte seçilmesi ve bunun için yetkililerin bilgilendirilmesi gerekir [8], [9].

Bu çalışmada, seçilen 7 farklı kamu kurumundaki 5 farklı alan için GMG 200 test cihazı kullanılarak DIN 51131:2014-03, EN 13893 ile TS CEN/TS 16165 Ek - D standartlarına göre ıslak ve kuru ortam dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) değerleri ölçülmüştür. Islak ve kuru her iki ortam için ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması RapidMiner programında K-Ortalama Yöntemi kullanılarak gruplanmış, oluşan küme grupları sınır değerleri Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar günümüzde Alman Kaza Sigortası Sisteminde kullanılan ve güncel DIN 51131:2014-03, EN 13893 ve TS CEN/TS 16165 Ek - D standartlarında geçen Wuppertaler Tabelası kullanılarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve Metot

Topluma açık ve kapalı alanlarda, kamuya ait binalarda zemin kaplaması olarak farklı yüzey işlemlerinde ve türde seramik, mermer, laminat, doğal taş, PVC, cam, metal, granit vb. malzemeler kullanılmaktadır.

Bu tarz malzemelerin tercih edilmesinde kaydırmazlık gibi güvenlik unsurları yerine estetik, parlaklık, güzellik vb. özellikler ön plana çıkmakta ve tercih nedeni olmaktadır. Kaplama zeminlerde meydana gelebilecek kayma ve düşme vakalarını ve oluşabilecek hukuki sorunları önleyebilmek için önceden zemin malzemelerinin ıslak ve kuru ortam kayma risk değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir [10].

Çalışma kapsamında 7 farklı kamu kurumunda bulunan 5 farklı alandaki (Giriş, Koridor, Oda, Merdiven, Lavabo) zemin kaplamaları için kuru ve ıslak ortam dinamik sürtünme katsayıları DCOF (μ) ölçülmüştür. Ölçüm yapılan kamu kurumları ve ölçüm alanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm yapılan kamu kurumları ve ölçüm alanları

Ölçüm Yapılan Kurum Adı	Ölçüm Yapılan Alanlar	Ölçüm Yapılan Alan Zemin Özelliği
K1 Okul K2 Kurum K3 Ana Okulu K4 Özel Hastane K5 SGK K6 Üniversite K7 Özel Hastane	Giriş Koridor Oda Merdiven Lavabo	Bej Mermer Seramik Serflor Laminant PVC Karo taşı Granit Yapay Granit

GMG 200 Sürtünme Katsayısı Ölçüm Test Cihazı

Çalışma kapsamında ıslak ve kuru ortamlarda gerçekleştirilen ölçümler mobil taşınabilir özellikteki GMG 200 test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test cihazı DIN 51131:2014- 03, EN 13893 ile TS CEN/TS 16165 Ek - D standartlarına göre çalışmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. GMG 200 test cihazı

Test cihazı altındaki kaydırıcı kızığa pabuç görevi gören farklı özellikteki malzemeler takılabilmektedir. Bu malzemeler ortamda yürüyüş için kullanılan ayakkabı, terlik vb. temsil etmektedir. Kaydırıcı kızak ve pabuçlar cihaza takıldıktan sonra ortam koşullarına uyum sağlaması için cihaz 30 dakika bekletilir. Daha sonra ölçüm yapılacak yerde beş adet ölçüm tekrarlanır. Önce kuru daha sonra ıslak ölçümler yapılır. Her ölçüm sonunda pabuçlar 320 numara zımpara ile plakaya baskı yapmadan eşit şekilde ileri ve geri hareket ettirilerek zımparalanır. Her ölçüm öncesi bu işlem tekrarlanmaktadır.

Ölçümler hem ıslak hem de kuru ortamda yapılmakta olup, test cihazı altında bulunan şerit çelik tel istenilen ölçü mesafesi kadar çekilir ve gerdirilir. Cihaz otomatik olarak ilerler ve ölçüm yapılır. Ölçümler beş defa tekrarlanır ve ilk iki ölçüm kalibrasyon amaçlı olduğundan atılır kalan üç ölçümün aritmetik ortalaması cihaz tarafından yapılarak ekranda gösterilir [11], [12].

RapidMiner Programı

RapidMiner, iş zekâsı, veri bilimi, makine öğrenmesi ve veri madenciliği gibi çok sayıda işlevin bünyesinde uyum içerisinde çalışmasını sağlayan, veriyi ön işlemeyen ve diğer makine öğrenme süreçlerinden geçiren, raporlama ve görselleştirme yapabilen, uçtan uca çözümlene yapan bir araçtır. Yazılım 2001 yılında, YALE (Yet Another Learning Environment) olarak duyurulmuştur. Veri madenciliği, makine öğrenmesi vb. süreçlerin hemen hemen tamamını gerçekleştirebilecek kabiliyettedir. Java dilinde yazılmış bir programdır ve program içerisinde Java dili kullanarak kod yazma imkanı sunmaktadır. Ayrıca Python, Weka veya R vb. ortam ve diller ile entegre çalışabilmektedir [13].

K-Ortalamlar Yöntemi

K-Ortalamlar Yönteminde amaç, verileri belirli özelliklerine göre kümeler ayırarak gruplamaktır. N tane veriden oluşan bir veri grubunu K adet kümeye bölmekteki amaç bölümlene yolu ile elde edilen kümelerin, küme içerisinde birbirleriyle olan benzerliklerini maksimum; diğer kümelerle olan benzerliklerini minimum düzeye indirmektir.

Uygulama kolaylığı nedeniyle K-Ortalamlar Yöntemi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. K verilerin kümeleneceği küme sayısını belirtmektedir. K-Ortalamlar Yönteminde itarasyonel şekilde devam eden tekrarlı bölümlene sayesinde verilerin bulunduğu kümeye olan uzaklıklar küçülür, böylelikle yöntem karesel hatanın en az olduğu K adet kümeyi bulmaya çalışır. İlk olarak her veri kümesinin merkez nokta veya ortalama değerini ifade eden rastgele K adet nesne belirlenir. Geriye kalan nesnelere, ortalama küme değerlerine bakılarak bu değerlere olan uzaklıkları göz önüne alınarak kendilerine en yakın benzer kümeler alınır. Her bir küme için hesaplanan ortalama değerle birlikte kümeler için yeni merkezler belirlenir ve nesnelere bu merkezlere olan uzaklıkları tekrar incelenir. Bu işlem veriler stabil hale gelip başka bir değişiklik olmayana kadar tekrarlı bir şekilde devam eder.

K-Ortalamlar Yöntemi temelde 4 aşamada gerçekleşir:

1. Kümeler için merkez tayin edilmesi
2. Merkez dışı kalan veriler için mesafelerin hesaplanması ve mesafelerine göre yeniden kümelendirilmesi
3. Kümelendirme işlemi sonrası yeni merkezlerin belirlenmesi (veya eski merkezlerin yeni merkeze kaydırılması)
4. Kararlılık sağlanana kadar (değişim olmama durumu) 2. ve 3. adımların tekrar edilmesi [14].

Karar Ağacı Yöntemi

Tahmin ve sınıflandırma işlemleri için sıkça kullanılan veri madenciliği yöntemlerinden biri de karar ağacı yöntemidir. Kolay yorumlanabilmesi ve anlaşılabilir olması açısından karar vericilere avantaj sağlamaktadır [15]. Karar Ağacı Yönteminde büyük miktardaki verileri küçük gruplara bölmek için basit karar verme adımları uygulanır. Gerçekleştirilen her başarılı bölme işlemi sonrasında veri grupları birbirlerine daha benzer olmaktadır [16]. Karar ağacı bir tane kök düğüm ve girdiler alan iç düğümlerden oluşmuş çok yönelimli bir ağaçtır [17]. Bu yöntemde veriler kökten yapraklara doğru bölünüp ilerlenerek kazanım yöntemine göre ağaç oluşturulur. İlk önce veriler ağacın kökünde toplanmıştır. Kazanım bilgi değerlerine bağlı olarak değişken seçimi gerçekleştirilir. Tekrarlı devam eden algoritmanın sonlanması için düğüm içerisinde mevcut tüm öğelerin aynı sınıfta yer alması gerekir. Kalan değerlerin yalnızca bir sınıftan olması ya da sınıflandırılacak herhangi bir değer kalmaması durumunda tekrarlı devam eden algoritma sona erer ve ağaç tamamlanmış olur [18].

Elde Edilen Verilerin Analizleri

Çalışma kapsamında, K1'den K7'ye kadar 7 farklı kamu kurumunda, 5 farklı alanda (Giriş, koridor, oda, merdiven, lavabo) ve 2 farklı ortamda (kuru-ıslak) DIN 51131:2014 - 03, EN 13893 ve TS CEN/TS 16165 Ek-D standartlarına göre çalışan mobil GMG 200 test cihazı kullanılarak dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) değerleri ölçülmüştür (Şekil 2).

Her alanda 5 ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu ölçüm değerlerinin ilk 2 tanesi kalibrasyon ve uyum nedeniyle değerlendirme dışı bırakılarak kalan 3 değer aritmetik ortalaması alınmıştır. Kuru ve ıslak ortamda 7 farklı kurum, 5 farklı alanda gerçekleştirilen 3 ölçüm için toplamda 210 adet ölçüm değeri elde edilmiştir. Elde edilen aritmetik ortalama değerleri RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi kullanılarak gruplanmış, oluşan küme grupları sınır değerleri Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar DIN 51131:2014 - 03, EN 13893 ve TS CEN/TS 16165 Ek - D Standartlarına göre Wuppertaler Tabelası kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. GMG 200 Test cihazı ile yapılan kuru ve ıslak ortam ölçümleri

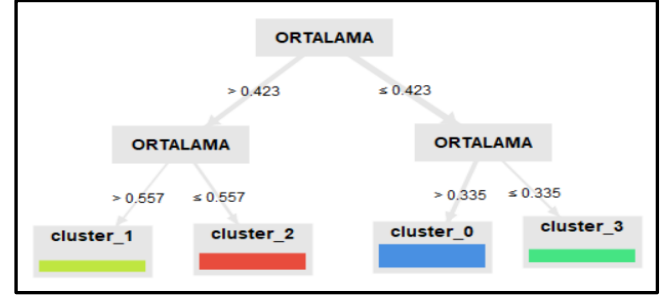
Dinamik sürtünme katsayılarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan Wuppertaler Tabelasında belirtilen sınır değerler için Güvensiz, Şartlı Güvenli, Güvenli ve Çok Güvenli gibi değerlendirmeler bulunmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Wuppertaler Tabelası Sınır Değerleri [19], [20].

Wuppertaler Tabelası	
Sürtünme Katsayısı (μ)	Değerlendirme
$\mu \geq 0.60$	Çok Güvenli
$0.45 \leq \mu < 0.60$	Güvenli
$0.30 \leq \mu < 0.45$	Şartlı Güvenli
$\mu < 0.30$	Güvensiz

Kuru ortam dinamik sürtünme katsayısı ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamalarının değerlendirilmesi için Wuppertaler Tabelasında değerlendirme derecesi olarak kullanılan Güvensiz, Şartlı Güvenli, Güvenli, Çok Güvenli durumları için K değeri 4 seçilmiştir. RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi kullanılarak ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları program tarafından cluster 0, cluster 1, cluster 2, cluster 3 olmak üzere 4 kümeye ayrılmıştır. Çalışmada cluster 0, cluster 1, cluster 2, cluster 3 ifadeleri yerine bundan sonra sırasıyla Küme 0, Küme 1, Küme 2, Küme 3 ifadeleri kullanılacaktır. RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi ve Karar Ağacı Yöntemi

Kullanılarak program tarafından oluşturulan kümeler ve sınır değerleri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Kuru Ortam için Karar Ağacı ve Gruplanmış Kümeler

RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemine göre gruplanmış kuru ortam dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değerleri aritmetik ortalamaları ile oluşan küme grupları için Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak belirlenen küme sınır değerleri Tablo 3'te ve bu değerlerin Wuppertaler Tabelası ile karşılaştırılması Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Kuru Ortam İçin Karar Ağacı Yöntemi ile belirlenen Sınır Değerleri

Karar Ağacı Yöntemi Kuru Ortam Sınır Değerleri	
Sürtünme Katsayısı (μ)	Değerlendirme
$\mu > 0.557$	Çok Güvenli
$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli
$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli
$\mu \leq 0.335$	Güvensiz

RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi ve Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak program tarafından oluşturulan kümeler incelendiğinde ıslak ortamda 7 farklı kurum, 5 farklı alanda gerçekleştirilen ölçümlerin aritmetik ortalamalarından oluşan 35 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması için:

Küme 0'da 13 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenmekte ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $0.335 < \mu \leq 0.423$ aralığında yer almaktadır (Şartlı Güvenli).

Küme 1'de 6 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenmekte ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $\mu > 0.557$ olan değerler olmaktadır (Çok Güvenli).

Küme 2'de 9 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenmekte ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $0.423 < \mu \leq 0.56$ aralığında yer almaktadır (Güvenli).

Küme 3'te 7 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenmekte ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $\mu \leq 0.335$ olan değerler olmaktadır (Güvensiz).

Tablo 4. Kuru Ortam İçin K-Ortalamlar Yöntemi Kümeleri ve Karar Ağacı Yöntemi Sınır Değerlerinin Wuppertaler Tabelası Değerleri ile Kıyası

Kurum Adı	Ölçüm Alanı	Zemin Özelliği	DCOF Ölçüm Değerleri Aritmetik Ortalaması	K-Ortalamlar Yöntemi Kümeler	Karar Ağacı Yöntemi Küme Sınır Değer Aralığı	Karar Ağacı Yöntemi Değerlendirme	Wuppertaler Tabelası Değerlendirme
K1 Okul	Giriş	Bej Mermer	0.37	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Seramik	0.27	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Güvensiz
	Oda	Serflor	0.61	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Çok Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.29	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Güvensiz
	Lavabo	Seramik	0.29	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Güvensiz
K2 Kurum	Giriş	Seramik	0.33	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Şartlı Güvenli
	Koridor	Seramik	0.50	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Oda	Laminant	0.34	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Seramik	0.53	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.57	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Güvenli
K3 Anaokulu	Giriş	Bej Mermer	0.38	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Pvc	0.60	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Çok Güvenli
	Oda	Laminant	0.26	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Güvensiz
	Merdiven	Bej Mermer	0.36	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.40	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
K4 Özel Hastane	Giriş	Seramik	0.34	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Pvc	0.64	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Çok Güvenli
	Oda	Pvc	0.66	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Çok Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.58	Küme 1	$\mu > 0.557$	Çok Güvenli	Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.45	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
K5 SGK	Giriş	Bej Mermer	0.46	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Koridor	Pvc	0.51	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Oda	Laminant	0.30	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.40	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.38	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
K6 Üniversite	Giriş	Karo Taşı	0.37	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Karo Taşı	0.37	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Oda	Laminant	0.46	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.54	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.34	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
K7 Özel Hastane	Giriş	Yapay Granit	0.36	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Yapay Granit	0.31	Küme 3	$\mu \leq 0.335$	Güvensiz	Şartlı Güvenli
	Oda	Pvc	0.50	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Merdiven	Granit	0.46	Küme 2	$0.423 < \mu \leq 0.557$	Güvenli	Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.39	Küme 0	$0.335 < \mu \leq 0.423$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli

Tablo 4. İncelendiğinde:

Kuru ortam değerleri için Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmenin Wuppertaler Tabelası kullanılarak yapılan değerlendirme ile % 85 oranında uyumlu olduğu;

Şartlı Güvenli ve Güvensiz değerlendirme sınır değerleri için Karar Ağacı Yöntemi sınır değerlerinin Wuppertaler Tabelası sınır değerlerine göre daha güvenli tarafta kaldığı (Karar Ağacı Yöntemine göre Güvensiz, Wuppertaler Tabelasına göre Şartlı Güvenli);

Güvenli ve Çok Güvenli değerlendirme sınır değerlerinde Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri güvenlik düzeyinin Wuppertaler Tabelasına kıyasla biraz daha düşük olduğu;

K1 okul binası koridor seramik kaplamasının, merdiven bej mermer kaplamasının, lavabo seramik kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K2 kurum giriş seramik kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz), Wuppertaler Tabelasına göre sınır değerde (Şartlı Güvenli) olduğu;

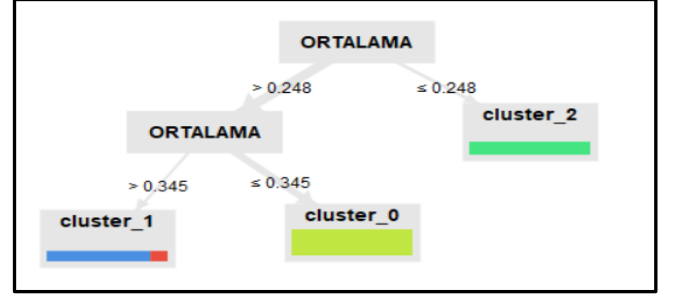
K3 anaokulu oda laminant kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K5 SGK oda laminant kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz), Wuppertaler Tabelasına göre sınır değerde (Şartlı Güvenli) olduğu;

K7 özel hastane koridor yapay granit kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz), Wuppertaler Tabelasına göre sınır değerde (Şartlı Güvenli) olduğu; görülmektedir.

Islak ortam dinamik sürtünme katsayısı ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamalarının değerlendirilmesi için Wuppertaler Tabelasında değerlendirme derecesi olarak kullanılan Güvensiz, Şartlı Güvenli, Güvenli, Çok Güvenli durumları için K değeri 4 seçilmiştir. RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi kullanılarak ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları program tarafından cluster 0, cluster 1, cluster 2, cluster 3 olmak üzere 4 kümeye ayrılmıştır.

K-Ortalamlar Yöntemi sonucu oluşturulan kümeler Karar Ağacı Yöntemi ile değerlendirildiğinde sınır değerleri belirlenen küme sayısı RapidMiner programında Karar Ağacı Yöntemi tarafından 3 olarak (cluster 0, cluster 1, cluster 2) belirlenmiş, program tarafından cluster 3 kümesi cluster 1'e dahil edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Islak Ortam için Karar Ağacı ve Gruplanmış Kümeler

RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemine göre gruplanmış ıslak ortam Dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları ile oluşan küme grupları için Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak belirlenen küme sınır değerleri Tablo 5'te ve bu değerlerin Wuppertaler Tabelası ile karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Islak Ortam İçin Karar Ağacı Yöntemi ile belirlenen Sınır Değerleri

Karar Ağacı Yöntemi Islak Ortam Sınır Değerleri	
Sürtünme Katsayısı (μ)	Değerlendirme
$\mu > 0.345$	Güvenli
$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli
$\mu \leq 0.248$	Güvensiz

RapidMiner programında K-Ortalamlar Yöntemi ve Karar Ağacı Yöntemi kullanılarak program tarafından oluşturulan kümeler incelendiğinde ıslak ortamda 7 farklı kurum, 5 farklı alanda gerçekleştirilen ölçümlerin aritmetik ortalamalarından oluşan 35 dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması için:

Küme 0'da 19 Dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenebilir ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $0.248 < \mu \leq 0.345$ aralığında yer almaktadır (Şartlı Güvenli).

Küme 1'de 7 Dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenebilir ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $\mu > 0.345$ olan değerler olmaktadır. Küme 1'de bulunan 7 değerden 1 tanesi program tarafından Küme 3'ten Küme 1'e dahil edilmiştir (Güvenli).

Küme 2'de 9 Dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) ölçüm değeri aritmetik ortalaması kümelenebilir ve bu değerler Karar Ağacı Yöntemine göre $\mu \leq 0.248$ olan olmaktadır. (Güvensiz).

Tablo 6. Islak Ortam İçin K-Ortalamlar Yöntemi Kümeleri ve Karar Ağacı Yöntemi Sınır Değerlerinin Wuppertaler Tabelası Değerleri ile Kıyası

Kurum Adı	Ölçüm Alanı	Zemin Özelliği	DCOF Ölçüm Değerleri Aritmetik Ortalaması	K-Ortalamlar Yöntemi Kümeler	Karar Ağacı Yöntemi Küme Sınır Değer Aralığı	Karar Ağacı Yöntemi Değerlendirme	Wuppertaler Tabelası Değerlendirme
K1 Okul	Giriş	Bej Mermer	0.43	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Seramik	0.21	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Oda	Serflor	0.33	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.51	Küme 3	Küme 1 $\mu > 0.248$	Güvenli	Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.22	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
K2 Kurum	Giriş	Seramik	0.23	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Koridor	Seramik	0.22	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Oda	Laminant	0.32	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Seramik	0.31	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.35$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.32	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.35$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
K3 Anaokulu	Giriş	Bej Mermer	0.34	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Pvc	0.28	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
	Oda	Laminant	0.23	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Merdiven	Bej Mermer	0.27	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
	Lavabo	Seramik	0.26	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
K4 Özel Hastane	Giriş	Seramik	0.18	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Koridor	Pvc	0.39	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Oda	Pvc	0.34	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.17	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Lavabo	Seramik	0.19	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
K5 SGK	Giriş	Bej Mermer	0.42	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Pvc	0.32	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Oda	Laminant	0.22	Küme 2	$\mu \leq 0.248$	Güvensiz	Güvensiz
	Merdiven	Bej Mermer	0.35	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.30	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.35$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
K6 Üniversite	Giriş	Karo Taşı	0.36	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Koridor	Karo Taşı	0.34	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Oda	Laminant	0.31	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Bej Mermer	0.29	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
	Lavabo	Seramik	0.27	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
K7 Özel Hastane	Giriş	Yapay Granit	0.28	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
	Koridor	Yapay Granit	0.27	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz
	Oda	Pvc	0.41	Küme 1	$\mu > 0.345$	Güvenli	Şartlı Güvenli
	Merdiven	Granit	0.32	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Şartlı Güvenli
	Lavabo	Seramik	0.29	Küme 0	$0.248 < \mu \leq 0.345$	Şartlı Güvenli	Güvensiz

Tablo 6. incelendiğinde:

Islak ortam değerleri için, Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmenin Wuppertaler Tabelası kullanılarak yapılan değerlendirme ile % 60 oranında uyumlu olduğu;

K1 okul binası koridor seramik kaplamasının ve lavabo seramik kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K2 kurum giriş seramik kaplamasının ve koridor seramik kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K3 anaokulu oda laminant kaplamasının, hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K3 anaokulu koridor PVC kaplamasının, merdiven bej mermer kaplamasının, lavabo seramik kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre sınır değerde (Şartlı Güvenli), Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K4 özel hastane giriş seramik kaplamasının, merdiven bej mermer kaplamasının, lavabo seramik kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K5 SGK oda laminant kaplamasının hem Karar Ağacı Yöntemi değerleri hem de Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K6 üniversite merdiven bej mermer kaplamasının ve lavabo seramik kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre sınır değerde (Şartlı Güvenli), Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu;

K7 özel hastane giriş yapay granit kaplamasının, koridor yapay granit kaplamasının, lavabo seramik kaplamasının Karar Ağacı Yöntemi değerine göre sınır değerde (Şartlı Güvenli), Wuppertaler Tabelasına göre kayma potansiyelinin yüksek (Güvensiz) olduğu görülmektedir.

Tablo 4. ve Tablo 6. beraber incelendiğinde K1 okul giriş bej mermer kaplaması ve merdiven bej mermer kaplaması için yapılan ölçümlerde kuru ortam dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasının ıslak ortam dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasından beklenenin aksine daha düşük ölçüldüğü görülmektedir. Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçümlerde görülen bu fark, zemin kaplaması yüzeyinde oluşan kum ve toz parçacıklarının kuru ortamda kaymayı artırıcı etki ile dinamik sürtünme katsayısını düşürmesi, ıslak ortamda ise meydana gelen vakum etkisinin kaymayı

azaltıcı etki ile dinamik sürtünme katsayısını arttırması ile gerçekleştiği şeklinde açıklanabilir.

Çalışma yapılan kamu kurumlarının genelinde, zemin kaplaması olarak kullanılan seramik malzemelerin kayma risk potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir. Kayma risk potansiyeli yönünden en riskli kurum incelenen 5 mahalden 4 ün de kayma riski bulunan anaokulu iken en güvenli kurum incelenen 5 mahalden 1'inde kayma riski bulunan K5 SGK olarak belirlenmiştir.

Sonuç:

7 farklı kamu kurumu ve 5 farklı alanda ıslak ve kuru ortamlarda gerçekleştirilen ölçümler sonrası elde edilen dinamik sürtünme katsayısı ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları RapidMiner programında K-Ortalamlar ve Karar Ağacı yöntemleri beraber kullanılarak kümelendirilmiştir. Küme sınır değerleri ve bu değerlere karşılık gelen (Güvensiz, Şartlı Güvenli, Güvenli, Çok Güvenli) aralıklar,

Kuru ortam için:

- $\mu > 0.557$ Çok Güvenli,
- $0.423 < \mu \leq 0.557$ Güvenli,
- $0.335 < \mu \leq 0.423$ Şartlı Güvenli,
- $\mu \leq 0.335$ Güvensiz,

Islak Ortam İçin:

- $\mu > 0.345$ Güvenli,
- $0.248 < \mu \leq 0.345$ Şartlı Güvenli,
- $\mu \leq 0.248$ Güvensiz,

olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada kuru ortam değerleri için Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmenin Wuppertaler Tabelası kullanılarak yapılan değerlendirme ile % 85 oranında uyumlu olduğu belirlenmiştir. Şartlı Güvenli ve Güvensiz değerlendirme sınır değerleri için Karar Ağacı Yöntemi sınır değerlerinin Wuppertaler Tabelası sınır değerlerine göre daha güvenli tarafta kaldığı (Karar Ağacı Yöntemine göre Güvensiz, Wuppertaler Tabelasına göre Şartlı Güvenli) ve Güvenli ve Çok Güvenli değerlendirme sınır değerlerinde Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri güvenlik düzeyinin Wuppertaler Tabelasına kıyasla biraz daha düşük olduğu (Karar Ağacı Yöntemine göre Güvenli, Wuppertaler Tabelasına göre Çok Güvenli) görülmüştür.

Yine aynı şekilde ıslak ortam değerleri için, Karar Ağacı Yöntemi sınır değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmenin Wuppertaler Tabelası kullanılarak yapılan değerlendirme ile % 60 oranında uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Çalışma neticesinde RapidMiner, Weka, Knime, Orange vb. veri madenciliği programlarının İnşaat Mühendisliği alanında yapılan teknik ve akademik çalışmalar sırasında

elde edilen verilerin gruplanması ve değerlendirilmesinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

İnceleme yapılan kamu kurumlarına ait zemin kaplamalarının çoğunluğunun kayma güvenliği konusunda sınır değerde olduğu tespit edilmiştir. Kamu kurumları içerisinde kayma güvenliği konusunda en güvenli kurum K5 SGK olurken, en güvensiz kurum K3 Anaokulu'dur. Yapılan incelemelerde kamu kurumlarında zemin kaplaması olarak kullanılan seramik malzemelerin dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kuru ve ıslak ortamlarda kullanılan mevcut zemin kaplamaları üzerinde ya gerekli güvenlik önlemlerinin alınması ya da bu zemin kaplamalarının dinamik sürtünme katsayısı DCOF (μ) değerleri yüksek zemin kaplamaları ile değiştirilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, ülkemizde son dönemde çıkan yasa, yönetmelik ve standartlar çerçevesinde tüm kamu kurum ve özel sektörlerde özellikle ıslak ortamlarda kullanılan zemin kaplamalarının kaymaz özellikte olması istenmektedir. Bu nedenler mevcut ve yeni yapılacak alanlarda zemin kaplamalarının kuru ve ıslak ortamda kayma potansiyellerinin belirlenmesi ve güvenlik sınıflamalarının yapılması son derece önemlidir. Özellikle büyük çalışma alanlarında zemin kaplamalarının kuru ve ıslak ortamda kayma risklerinin belirlenerek kaymazlık risk haritasının çıkarılması ve güvenlik sınıflamasının yapılarak hem insanların güvenli hareket edebilmeleri hem de İş Sağlığı ve Güvenliği açısından son derece önemlidir.

Kaynaklar

- [1] Ulusal Zemin Güvenliği Enstitüsü, URL: <https://uzge.org/hakkimizda> (Erişim Kasım. 03, 2021)
- [2] Social Security Institution-SGK, "Worker Health and Business Safety Report", Turkey, 2017.
- [3] G. Coşkun, "Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüzey İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri", Fen Bilim. Enstitüsü Doktora Tezi 293s, 2013.
- [4] G. Coşkun, "Slip Risk Evaluation of Surface Coating Natural Stone Used in Health Institution," 1.Uluslararası İş Güvenliği Ve Çalışan Sağlığı Kongresi, 2016
- [5] Radikal, URL: http://www.radikal.com.tr/turkiye/ali_sveris_merkezine_kaygan_zemin_cezası1016575/ (erişim Eyl. 10, 2021).
- [6] Cumhuriyet, URL: <https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/izmirde-ıslak-zeminde-dusen-saglikci-tazminat-davasini-kazandi-698730> (Erişim Eylül. 10, 2021).
- [7] Hürriyet, URL: <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/vmde-ıslak-zemin-yuzunden-dustu-tazminat-kazandi-emsal-karar-cikti-41771404> (Erişim Eylül. 10, 2021).

- [8] G. Coşkun ve G. Sarıışık, "Analysis of slip safety risk by portable floor slipperiness tester in state institutions", J. Build. Eng., c. 27, s. 100953, 2020.
- [9] G. Coşkun ve G. Sarıışık, "Kamu Kurumlarında Kullanılan Zemin Kaplamalarının Yerinde Ve Laboratuvar Ortamında Kayma Risk Skalasının Belirlenmesi,"9.Uluslararası İş Sağlığı Ve Güvenliği Kongresi 2018.
- [10] G. Coşkun ve G. Sarıışık, "Determination And Evaluation Of Slip Risk Of Floor Coverings Used In Public Institutions", Determination And Evaluation Of Slip Risk Of Floor Coverings Used In Public Institutions, Adana, Turkey, Nov. 2017, c. 890, ss. 352-363.
- [11] G. Coşkun ve G. Sarıışık, "Eğitim Kurumlarında Kullanılan Zemin Kaplamalarının Kayma Risklerinin (Potansiyellerinin) Belirlenmesi ve Güvenlik Sınıflamasının Yapılması", program adı: 9. Uluslararası iş sağlığı ve güvenliği kongresi, İstanbul Türkiye, May. 2018.
- [12] G. Coskun And G. Sarisik, "Taşınabilir Ve Laboratuvar Zemin Kaymazlık Test Cihazı Ile Kayma Güvenliği Risk Analizi," International Aegean Symposium On Innovative Interdisciplinary Scientific Researches, 2019
- [13] Ş.E. Şeker ve D. Erdoğan RapidMiner ile Veri Madenciliği. Antalya: Bilgisayar Kavramları Yayınları, 2016.
- [14] Vikipedi, URL: https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=K-means_k%C3%BCmeleme&oldid=20796946 (Erişim Eylül. 11, 2021)
- [15] C. F. Chien, L. F. Chen, "Data Mining to Improve Personnel Selection and Enhance Human Capital: A Case Study in High-Technology Industry," Expert Systems with Applications, vol. 34, p. 280-290, 2008.
- [16] J. Sun and H. Li, "Data Mining Method for listed companies' financial distress prediction," *Knowledge-Based Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 1-5, 2008.
- [17] O., Maimon, L. Rokach, "Classification Trees". Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, Editör: O., Maimon, L. Rokach, Springer, New York, A.B.D., 149-175, 2010.
- [18] G. O. Temel, H. Çamdeviren, Z. Akkuş, "Sınıflama Ağaçları Yardımıyla Restless Legs Syndrome (RLS) Hastalarına Tanı Koyma", 2005.
- [19] R. Skiba, "Taschenbuch Arbeitssicherheit", 9. Auflage, Berlin, Erich Schmidt Verlag 1997.
- [20] G. Lehder / R. Skiba, "Taschenbuch Arbeitssicherheit", 11. Auflage, Erich Schmidt Verlag 2011.



Research Article

Reuse of Industrial Metal Wastes as Partial Replacement of Aggregates in Mortar Production

Nihan GÜLMEZ^{1*}

¹ Munzur University, Civil Engineering Department, nihangulmez@munzur.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8650-9670

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 November 2021
Received in revised form 20 November 2021
Accepted 7 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Bulk density, flexural strength, metal wastes, sustainability

Doi: 10.24012/dumf.1051502

* Corresponding author

ABSTRACT

Sustainable waste management is becoming more and more important in the construction industry due to increasing waste costs as well as environmental effects. As a result of increasing level of wastes and environmental damage, the use of these wastes has become the focus for beneficial construction activities and sustainable industrial applications. This study presents experimental results on the effect of industrial wastes on the performance of cementitious mixtures. The scope of this study, therefore, was to assess the effect of waste aluminium on physical and mechanical properties of cement based mixtures prepared in different compositions. Consistency, bulk density, porosity, absorption, flexural and compressive strength tests were carried out on mixtures produced by using waste aluminium aggregates in different percentages instead of fine aggregate. Results showed that mixtures prepared with 4% aluminium aggregates had the highest water absorption and porosity. With the addition of %1 lathe waste, it was observed that the flexural behavior of mortar was maximum and the optimum percentage for flexural strength was noted. In addition, when mixtures produced with the same percentage of aluminium were compared, the amount of binder played a significant role on both compressive and flexural strength. Results have shown that to incorporate aluminium into mixtures can be a suitable solution for recycling in industrial applications.

Introduction

In recent years, the standard of living, which has improved considerably with economic development, has led to a sharp increase in industrial wastes that emerged as a big social problem [1]. Over the years, increased amount of waste in the world has created a serious threat to ecology and this situation encourages reuse by recycling of waste in concrete [2].

At this point, sustainable techniques should be created to reuse these wastes [3]. Among these techniques, the use of metal wastes as aggregates in civil engineering applications and in cement based products can be considered as an alternative [4]. Concrete, a composite material, was known for its advantages such as its formability, compressive strength and durability against environmental conditions [5]. The most serious disadvantage of concrete was its very low tensile strength [6]. For this reason, in concrete structures, cracks might develop and those caused a decrease in their strength proceedingly [7]. Manufacturers offered hundreds of fiber types that differ in geometric shape, size, diameter and surface finish [8]. However, due to the environmental damage caused by the production of these fibers, there has been an increasing interest in incorporating recycled waste fibers into concrete recently.

Belferrag et al. [9] investigated effects of waste metal fibers on the durability of concrete due to its economic and environmental advantages. With the addition of waste metal, it was concluded that compressive strength increased by 30.7% compared to plain concrete [10]. It was explained by Kalpana and Tayu [11] that very high tensile strength was achieved with a 45% increase in 1% steel waste compared to plain concrete, and brittle fracture was prevented even in low volume steel wastes. Aluminum chips are one of metal industry wastes [12, 13]. It is important for sustainability to evaluate these wastes as fibers or aggregates in mixtures, even in small volumes [14].

In this study, effects of partial reuse of waste aluminum as aggregate replacement in mortar mixtures were investigated in order to reduce the environmental impact caused by the disposal of waste metals.

Material and Method

CEM I-42.5R Portland Cement was used in the preparation of mixtures and specific gravity of cement was found to be 3.11. Three different types of aggregates were used as fine aggregates: aluminum (A1), river sand (A2) and crushed sand (A3). The general view of materials used in the

mixture was given in Figure 1. Gradation curves of fine aggregates were given in Figure 2.

Fresh mixtures prepared were poured into prism molds having 40x40x160 mm sizes. Fresh mixtures were removed from their molds after 24 hours and left to the curing process at 22°C standard temperature. In order to compare engineering properties of mixtures in different compositions, unit weight, consistency, oven-dry and saturated surface-dry bulk densities, apparent porosity, water absorption, compressive and flexural strength of mixtures were calculated by taking average values of three mortars for each mixture.

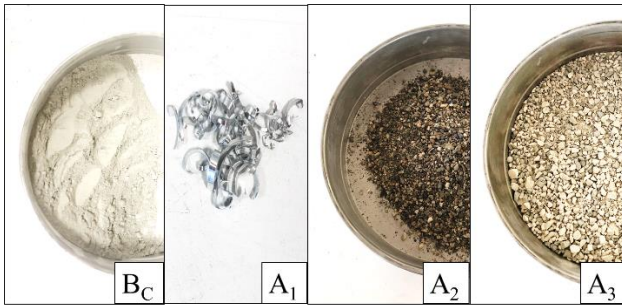


Figure 1. General view of materials used in mixture

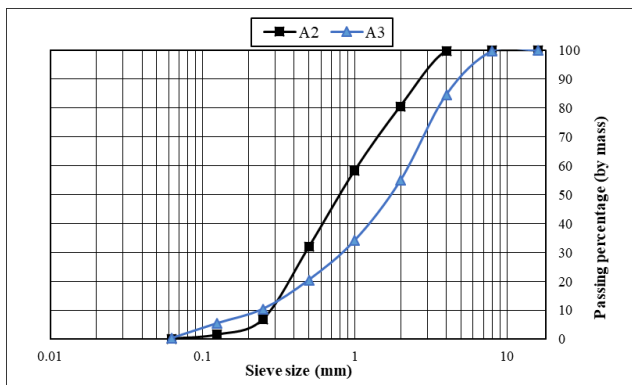


Figure 2. Gradation curve of fine aggregates

Table 1. Constituents ratios of mixtures

Mixtures	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Aggregates (by volume)		
			A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)
Mx1	222	467	4	60	36
Mx2	235	500	4	60	36
Mx3	188	400	1	-	99

Results and Discussion

Physical properties

Figures 1 and 2 showed test results for the determination of fresh properties on mixtures. Mx3 mixture containing minimum aluminum percentage showed the highest unit weight value. Unit weight of fresh Mx1 mixture containing 4% aluminum was calculated as 2236 kg/m³. Due to the relatively lower specific gravity of aluminum than other aggregates, mixtures containing aluminum showed lower unit weight.

In mixtures with the same water/cement ratio, it could be said that the increased percentage of aluminum increased the workability. Mx2 mixture containing 4% aluminum had the highest spread diameter of 110.5 mm. Minimum workability value was observed in Mx3 (105 mm) mixture. This situation could be explained by the relatively lower water requirement of aluminum added to mixtures as metal waste aggregate, compared to crushed or river aggregate. As a result, the consistency increased with increasing metal percentage.

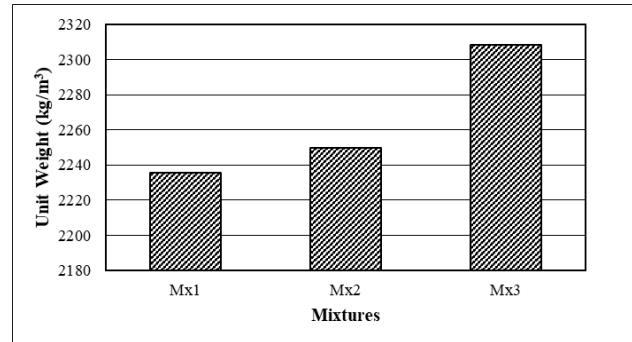


Figure 1. Unit weight values of fresh mixtures

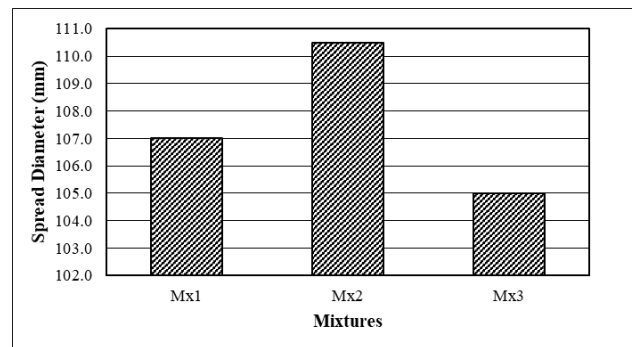


Figure 2. Consistency of fresh mixtures

Figures 3 and 4 show oven-dry and saturated surface dry bulk density values. In all mixtures, Mx3 showed the highest bulk density values, while Mx1 gave the lowest bulk density values. In the study carried out by Tebbal and Rahmouni [15], it was determined that mixture density decreased by approximately 25% with the addition of 7.5% aluminum according to the weight of the sand and this was attributed to the reaction of alkali solution and aluminum metal in the paste.

As a result of this study, as the percentage of aluminum in mixtures decreased, values of OD and SSD bulk density increased. This was due to the lower density of aluminum material compared to that of other fine aggregate in this study. In addition, it can be said that there is a decrease in bulk densities due to the high porosity created by aluminum in the form of sawdust in mixture. It was observed by Koçkal et al. [16] that the addition of aluminum particles led to a reduction in strength and bulk density due to entrained air into mixtures.

Figure 5 and Figure 6 showed the porosity and water absorption values of the hardened mixtures. The limited pore connectivity of concrete meant low porosity and low

water absorption [17]. Water absorption percentage of concrete was expressed as the ratio of the mass of water absorbed by mixture to mass of oven-dried mixture [18]. Aluminum, which are used as substitutes for fine aggregate in this study, can also be considered as hybrid fiber material in different sizes. It was reported that fibers increased total porosity by affecting the air content of mixtures, resulting in lower density and thermal conductivity [19]. Mx3 mixture had the lowest water absorption and apparent porosity values. It was observed by Anike et al. [20] that metal fiber-reinforced recycled aggregate concrete and metal fiber-reinforced blended aggregate concrete had 49% and 8.8% higher absorptions, respectively, compared to control concrete. Void content, which explains entrapped macroporosity, was reported to increase with the addition of fibers [21, 22]. This was attributed to defects in the interfacial bond between fibers and the other components of Portland cement concrete resulting from the fiber addition [23]. It was thought that low interfacial adhesion would lead materials to move away from each other and thus increase porosity and decrease density [24]. Mx1 mixture with aluminum percentage of 4% had the highest water absorption of 10.2% and apparent porosity of 18.1%. This situation can be explained by the fact that due to geometric properties of aluminum, the higher percentage of use of aluminum in mixtures increases porosity of mixtures. It was concluded that a more compact structure could be created with the use of optimum percentage of aluminum.

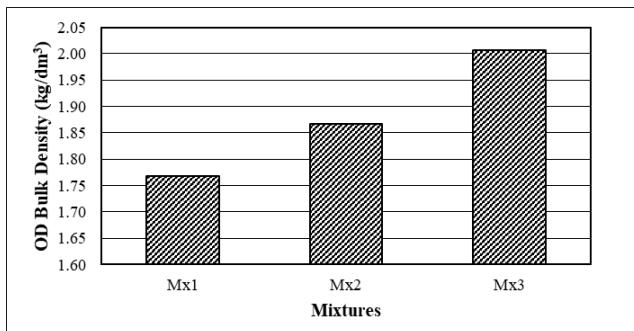


Figure 3. Bulk density (oven-dry) of mixtures

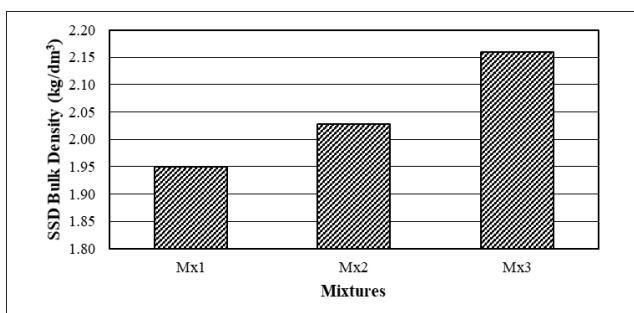


Figure 4. Bulk density (saturated surface-dry) of mixtures

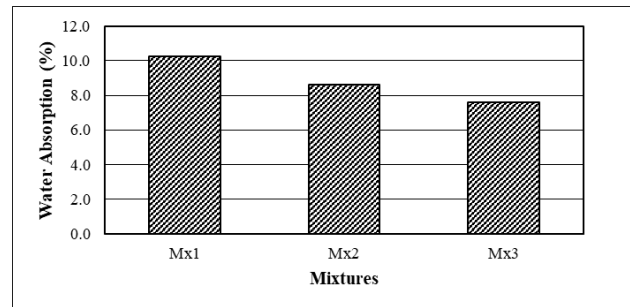


Figure 5. Water absorption of mixtures

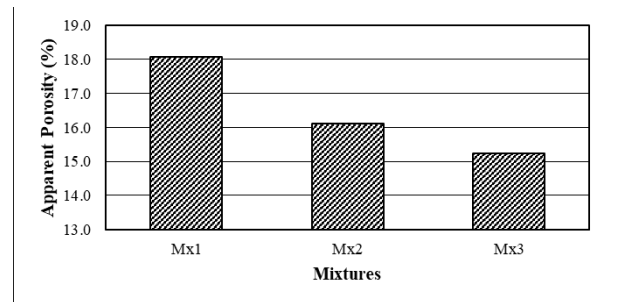


Figure 6. Apparent porosity of mixtures

Mechanical Properties

Compressive strength results were presented in Figure 7. Mx3 mixture showed the highest compressive strength with 21.9 MPa, while Mx1 mixture (20.9 MPa) gave the lowest compressive strength. It was observed that compressive strength of mixtures to which aluminum was added at different volumetric percentages decreased [25]. In terms of strength and water absorption resistance, the best performance was obtained at two different waste percentages, 1% and 5% aluminum, respectively [26]. It was determined that the use of aluminum waste with a maximum size of 4.74 mm in cement-based mixtures by replacing them with sand sharply reduces compressive strength [27]. According to results, it was concluded that both the amount of binder and types of aggregate play a very important role on mechanical properties of mixtures. It was observed by Poorsaheli et al. [28] that hybrid fibers could increase flexural strength by up to 28%, but had no significant effect on compressive strength. Li et al. [29] reported that micro steel fibers in improving compressive strength of concrete were more effective than long steel fibers. In addition, the higher percentage of shorter fibers in concrete mix, the better workability was achieved [30].

Flexural strength values were given in Figure 8. The reason for the improvement in flexural behavior through the presence of fibers is bridging in crack zone and preventing crack propagation [31, 32]. Improved properties such as increased load carrying capacity, energy absorption and toughness were due to the increased energy demand for propagation of the crack thanks to the bridging effect of fibers [33, 34]. Today, although various fiber types are produced according to material type, size and shape, costs of these fibers increase the economic burden of construction sector [35]. In addition, other important consequences of fiber production are the rapid destruction of natural resources and increased emissions [36]. As a result, recent

research aims to increase the use of different types of recycled fiber as an alternative to these commercial fibers. Metal wastes used in this study can be considered as an additive material that undertakes the task of bridging cracks in mixture. Straight and smooth fibers resist pull-out mainly by adhesion, while hooked-end fibers offer additional mechanical strength [37]. Therefore, more energy is required to deform fibers of the second type mentioned [38-40]. However, it was reported by Kim et al. [41] that highly curved steel fibers with a curvature above 0.04 mm negatively affect tensile performance due to poor fiber distribution and excessive matrix damage.

Main advantages of using fiber-like additives are better interlocking mortar matrix and increased flexural strength of mixtures resulting in a non-brittle and ductile fracture [42]. Results of research by Niu [43] showed that mixtures prepared with 0.5% medium (13 mm) and 1.5% long (20 mm) fibers gave better flexural behavior compared to other mixtures. The highest flexural strength was shown by Mx3 mixture containing 1% aluminum. This result contrasts with previous studies that have reported the increasing flexural strength with the increase of fiber content [44]. Therefore, it was concluded that there was an optimum percentage of aluminum to be added to mixtures. Furthermore, when Mx1 and Mx3 mixtures were compared, it was concluded that Mx3 mixture containing only crushed sand and aluminum aggregates showed better results than Mx1 mixture. In the study by Elinwa and Mbadike [45], it was reported that the optimum replacement value for compressive and flexural strengths was 10%. An increase in strength, as expected, was observed with the decrease of water-cement ratio for all mixtures. However, it is clear that the actual performance of mixtures depends on the cement dosage, the water-cement ratio and the percentage of aluminum as fine aggregate. As a result, based on the obtained strength values, it can be recommended to use both 1% and 4% aluminum content for structural and non-structural applications.

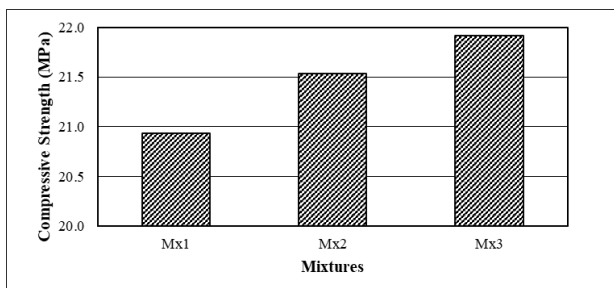


Figure 7. Compressive strength of mixtures

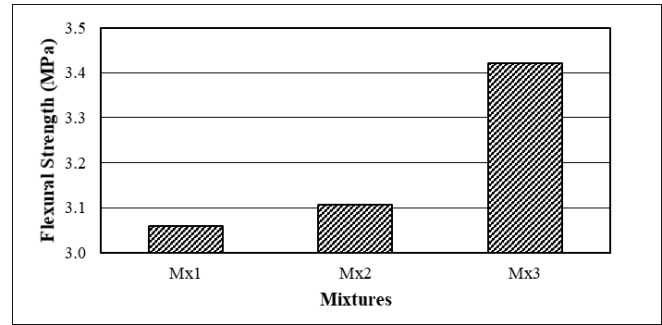


Figure 8. Flexural strength of mixtures

Conclusions

- Mx1 mixture containing 4% aluminum showed the lowest compressive strength of 20.9 MPa.
- Mx3 mixture produced by using combination of crushed sand and aluminum as fine aggregate gave the best flexural strength of 3.4 MPa.
- Bulk density values increased as the percentage of aluminum in mixtures decreased.
- Mx3 mixture containing 1% aluminum was found to have the most desirable properties in terms of water absorption and apparent porosity.

References

- [1] M. Batayneh, I. Marie, I. Asi, "Use of selected waste materials in concrete mixes," *Waste Management*, vol. 27, pp. 1870–1876, 2007.
- [2] A. J. Babafemi, B. Savija, S. C. Paul, V. Anggraini, "Engineering properties of concrete with waste recycled plastic: a review," *Sustainability*, vol. 10, no 11, pp. 1-26, 2018.
- [3] N. K. Sharma, P. Kumar, S. Kumar, B. S. Thomas, R.C. Gupta, "Properties of concrete containing polished granite waste as partial substitution of coarse aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 151, pp. 158–163, 2017.
- [4] J. Junak, N. Stevulova, "Natural aggregate totally replacement by mechanically treated concrete waste," *SSP - Journal of Civil Engineering*, vol. 10, no 1, pp. 83-90, 2015.
- [5] S. Khan, N. Maheshwari, G. Aglave, R. Arora, "Experimental design of green concrete and assessing its suitability as a sustainable building material," *Materials Today: Proceedings*, vol. 26 pp. 1126-1130, 2020.
- [6] F. Min, Z. Yao, T. Jiang, "Experimental and numerical study on tensile strength of concrete under different strain rates," *The Scientific World Journal*, 2014, Art. no. 173531.
- [7] W. Zeng, Y. Ding, Y. Zhang, F. Dehn, "Effect of steel fiber on the crack permeability evolution and crack surface topography of concrete subjected to freeze-

- thaw damage,” *Cement and Concrete Research*, vol. 138, 2020, Art. no. 106230.
- [8] D. Yoo, I. You, “Liquid crystal display glass powder as a filler for enhancing steel fiber pullout resistance in ultra-high-performance concrete,” *Journal of Building Engineering*, vol. 33, 2021, Art. no. 101846.
- [9] A. Belferrag, A. Kriker, S. Abboudi, S. Tie Bi, “Effect of granulometric correction of dune sand and pneumatic waste metal fibers on shrinkage of concrete in arid climates,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3048-3056, 2016.
- [10] Y. W. Shewalul, “Experimental study of the effect of waste steel scrap as reinforcing material on the mechanical properties of concrete,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, 2021, Art. no. e00490.
- [11] M. Kalpana, A. Tayu, “Experimental investigation on lightweight concrete added with industrial waste (steel waste),” *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 887–889, 2020.
- [12] M. I. Kadir, M. S. Mustapa, N. A. Latif, A. S. Mahdi, “Microstructural analysis and mechanical properties of direct recycling aluminium chips AA6061/Al powder fabricated by uniaxial cold compaction technique,” *Procedia Engineering*, vol. 184, pp. 687 – 694, 2017.
- [13] N. Gulmez, “Roles of aluminium shavings and calcite on engineering properties of cement-based composites,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, 2020, Art. no. 124104.
- [14] R. Hay, C. P. Ostertag, “On utilization and mechanisms of waste aluminium in mitigating alkali-silica reaction (ASR) in concrete,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 212, pp. 864-879, 2019.
- [15] N. Tebbal, Z. A. Rahmouni, “Valorization of aluminum waste on the Mechanical Performance of mortar subjected to cycles of freeze-thaw,” *Procedia Computer Science*, vol. 158, pp. 1114–1121, 2019.
- [16] N. U. Kockal, O. Beycan, N. Gulmez, “Effect of binder type and content on physical and mechanical properties of geopolymers,” *Sadhana*, 43, 49, 2018.
- [17] B. B. Jindal, P. Jangra, A. Garg, “Effects of ultra fine slag as mineral admixture on the compressive strength, water absorption and permeability of rice husk ash based geopolymer concrete,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 32, pp. 871–877, 2020.
- [18] P. Chakartnarodom, N. Kongkajun, N. Chuankrerkkul, P. Ineure, W. Prakaypan, “Reducing water absorption of fiber-cement composites for exterior applications by crystal modification method,” *Journal of Metals, Materials and Minerals*, vol. 29, pp. 90-98, 2019.
- [19] B. Nagy, S. Nehme, D. Szagri, “Thermal properties and modeling of fiber reinforced concretes,” *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2742-2747, 2015.
- [20] E.E. Anike, M. Saidani, A. Olubanwo, M. Tyrer, E. Ganjian, “Effect of mix design methods on the mechanical properties of steel fibre-reinforced concrete prepared with recycled aggregates from precast waste,” *Structures*, vol. 27, pp. 664-672, 2020.
- [21] A.M. Zeyad, A. Khan, B. Tayeh, “Durability and strength characteristics of high-strength concrete incorporated with volcanic pumice powder and polypropylene fibers,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, pp. 806-818, 2020.
- [22] B.C. Oni, J. Xia, M. Liu, “Mechanical properties of pressure moulded fibre reinforced pervious concrete pavement brick,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 13, 2020.
- [23] S. Abdallah, M. Fan, D.W. Rees, “Bonding mechanisms and strength of steel fiber-reinforced cementitious composites: Overview,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, 2018, Art. no. 04018001.
- [24] T. Alomayri, F. Shaikh, I.M. Low, “Characterisation of cotton fibre-reinforced geopolymer composites,” *Composites Part B-Engineering*, vol. 50, pp. 1-6, 2013.
- [25] O. M. Ofuyatan, A. A. Ivoke, A. M. Olowofoyeku, A. Adesina, and J. Oluwafemi, “Effect of waste aluminium shavings on the bond characteristics of laterized concrete,” *Advances in Materials Research*, vol. 8, no. 1, pp. 25–36, Mar. 2019.
- [26] N. L. Rahim, N. M. Ibrahim, S. Salehuddin, R. C. Amat, S. A. Mohammed, C. R. Hibadullah, “The Utilization of Aluminum Waste as Sand Replacement in Concrete,” *Key Engineering Materials*, vol. 594–595, pp. 455–459, Dec. 2013.
- [27] A. S. Aadi, T. K. M. Ali, R. A. A. Ali, M. M. Salman, “The mechanical properties of green mortar contained aluminum wastes as substitution of sand,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, pp. 3002–3009, 2021.
- [28] H.B. Poorsaheli, A. Behravan, S.T. Aghda, “Durability performance of hybrid reinforced concretes (steel fiber + polyolefin fiber) in a harsh marine tidal zone of Persian Gulf,” *Construction and Building Materials*, vol. 266, 121176, 2021.
- [29] J. Li, E. Zhao, J. Niu, C. Wan, “Study on mixture design method and mechanical properties of steel fiber reinforced self-compacting lightweight aggregate concrete,” *Construction and Building Materials*, 2020, Art. no. 121019.
- [30] Y. Mohammadi, S. Singh, S. Kaushik, “Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibres in fresh and hardened state,” *Construction and Building Materials*, 22, pp. 956-965, 2008.
- [31] G.B. Golpasand, M. Farzam, S.S. Shishvan, “Behavior of recycled steel fiber reinforced concrete under uniaxial cyclic compression and biaxial tests,” *Construction and Building Materials*, vol. 263, 2020, Art. no. 120664.

- [32] I. Rahmani, A. Maleki, M.A. Lotfollahi-Yaghin, "A laboratory study on the flexural and shear behavior of RC beams retrofitted with steel fiber-reinforced self-compacting concrete jacket," *Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of Civil Engineering*, pp. 1-17, 2020.
- [33] H.A. Alkufi, M. Al-Sherrawi, "Efficiency of steel fiber on carrying capacity of short square columns," *Civil Engineering Journal*, vol. 4, pp. 1584-1594, 2018.
- [34] N. Buratti, C. Mazzotti, M. Savoia, "Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced concretes," *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 2713-2722, 2011.
- [35] B. Ali, L. A. Qureshi, S. U. Khan, "Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement," *Construction and Building Materials*, vol. 262, 2020, Art. no. 120820.
- [36] A. S. Moghadam, F. Omidinasab, M. Abdalikia, "The effect of initial strength of concrete wastes on the fresh and hardened properties of recycled concrete reinforced with recycled steel fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 300, 2021, Art. no. 124284.
- [37] T. Simoes, C. Octavio, J. Valença, H. Costa, D. Dias-da-Costa, E. Julio, "Influence of concrete strength and steel fibre geometry on the fibre/matrix interface," *Composites Part B*, vol. 122, pp. 156-164, 2017.
- [38] S. Abdallah, M. Fan, K. Cashell, "Pull-out behaviour of straight and hooked-end steel fibres under elevated temperatures," *Cement and Concrete Research*, vol. 95, pp. 132-140, 2017.
- [39] Z. Wu, C. Shi, W. He, L. Wu, "Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 103, pp. 8-14, 2016.
- [40] J. Feng, W. Sun, X. Wang, X. Shi, "Mechanical analyses of hooked fiber pullout performance in ultra-high-performance concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 69, pp. 403-410, 2014.
- [41] J. Kim, Y.S. Jang, D. Yoo, "Enhancing the tensile performance of ultra-high-performance concrete through novel curvilinear steel fibers," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, pp. 7570-7582, 2020.
- [42] A. Moron, D. Ferrandez, P. Saiz, M. Alvarez, C. Moron, "New system for vibrating and orientation of steel fibers in masonry mortars," *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 2021, Art. no. 102827.
- [43] Y. Niu, J. Wei, C. Jiao, "Crack propagation behavior of ultra-high-performance concrete (UHPC) reinforced with hybrid steel fibers under flexural loading," *Construction and Building Materials*, vol. 294, 2021, Art. no. 123510.
- [44] I. Yang, C. Joh, K. Kim, "A comparative experimental study on the flexural behavior of high-strength fiber-reinforced concrete and high-strength concrete beams," *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1-13, 2018.
- [45] A. U. Elinwa, E. Mbadike, "The Use of Aluminum Waste for Concrete Production," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 217-220, 2011.