



Dicle Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

mühendislikdergisi
journal of engineering

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
mühendislikdergisi
Cilt: 11, Sayı: 3, Eylül 2020 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
Sedat BİNGÖL
Abdurrahman SAYDUT
Nizamettin HAMİDİ
Mehmet Salih KESKİN
Abdulnasır YILDIZ
Gültekin AKTAŞ
İbrahim KAYA
Muhammet Ali ARSERİM
Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Fevzi ÖNEN
Kadir TURAN
Bilal GÜMÜŞ
Mustafa AYHAN
Mehmet Emin ÖNCÜ

Tasarım-Dizgi / Designing-Editing
Mesut ŞEKER

Yazışma Adresi

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır
Telefon : +90-412 248 82 17, Faks : +90-412-248 82 18
Elektronik posta : muhendislikdergisi@dicle.edu.tr
web : <http://dergipark.gov.tr/dumf>

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.

- Delia Teresa SPONZA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Gökay KAYNAK (Uludağ Üniversitesi)
Dilek DURANOĞLU (YTU)
Mehmet Fatih ALTAN (İstanbul Aydın Üniversitesi)
Mustafa OKUTAN (YTU)
Namık AK (İstanbul Üniversitesi)
Orhan CANPOLAT (YTU)
Halit ÖZEN (YTU)
Altan ÇETİN (Bartın Üniversitesi)
Sepanta NAİMİ (İstanbul Aydın Üniversitesi)
Eda ADAL (Gaziantep Üniversitesi)
Duygu ASLAN TÜRKER (Erciyes Üniversitesi)
Mücteba UYSAL (YTU)
İrem TOKER (METU)
Talat BİRGÖNÜL (METU)
Elif NEBATİ (İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi)
Kerim KARADAĞ (Harran Üniversitesi)
Murat AYKUT (KTU)
Hilal ACAY (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Gizem MISIR (Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi)
Mesut GÖR (Fırat Üniversitesi)
Önder AYER (Trakya Üniversitesi)
Ümit HÜNER (Trakya Üniversitesi)
Aydın BÜYÜKSARAÇ (Çanakkale 18 Mart Üniversitesi)
Gültekin UZUN (Gazi Üniversitesi)
Mehmet Hadi SUZER (Harran Üniversitesi)
Özgür Turay KAYMAKÇI (YTU)
Murat PEKER (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)
Erdoğan AVAROĞLU (Mersin Üniversitesi)
Taner TUNCER (Fırat Üniversitesi)
Pınar DEMİRCİOĞLU (Aydın Adnan Menderes Üniversitesi)
Süleyman METE (Gaziantep Üniversitesi)
Mehmet KARAHAN (Fırat Üniversitesi)

Recep AKDAĞ (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Waiel MOWRTAGE (Marmara Üniversitesi)
Deniz KORKMAZ (Turgut Özal Üniversitesi)
Beşir DANDIL (Fırat Üniversitesi)
Yakup HAMEŞ (İskenderun Teknik Üniversitesi)
Murat KAYRI (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
Ömer TÜRK (Mardin Artuklu Üniversitesi)
İlhan UMUT (Trakya Üniversitesi)
Burak YÖN (Munzur Üniversitesi)
Onur ONAT (Munzur Üniversitesi)
Cahit BİLİM (Mersin Üniversitesi)
Umur Korkut SEVİM (İskenderun Teknik Üniversitesi)
Fatih ÜNAL (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Çiğdem SUSANTEZ (Trakya Üniversitesi)
Sinan UYANIK (Harran Üniversitesi)
Edip AVŞAR (Bitlis Eren Üniversitesi)
Orhan Taner CAN (Bursa Teknik Üniversitesi)
Şehram DİZECİ (TED Üniversitesi)
Baran HEKİMOĞLU (Batman Üniversitesi)
Erdal EKER (Muş Alparslan Üniversitesi)
Metin YURDDAŞKAL (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Uğur ÇALIGÜLÜ (Fırat Üniversitesi)
Mehmet KARATAŞ (Fırat Üniversitesi)
Erkut YALÇIN (Fırat Üniversitesi)
Mehmet YILMAZ (Fırat Üniversitesi)
Ahmet Kürşad TÜRKER (Kırıkkale Üniversitesi)
Hüseyin BAŞLIGİL (YTU)
Onur DOĞAN (Bakırçay Üniversitesi)
Hüseyin VAPUR (Cumhuriyet Üniversitesi)
Bahri ERSOY (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
Muharrem Tuncay GENÇOĞLU (Fırat Üniversitesi)
Sedat AKLEYLEK (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Gürkan KAVURAN (Turgut Özal Üniversitesi)
Uğur KÖKLÜ (Karamanoğlu MehmetBey Üniversitesi)
Özer AYDIN (Dumlupınar Üniversitesi)

Erkut SAYIN (Fırat Üniversitesi)
Ragip İNCE (Fırat Üniversitesi)
Veysel Süleyman YAVUZ (Siirt Üniversitesi)
Kadir EROL (Hitit Üniversitesi)
Barış ERDİL (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
İlker KAZAZ (Erzurum Üniversitesi)
Metin CAN (Hacettepe Üniversitesi)
Güliden GÖK (Aksaray Üniversitesi)
İlker KILIÇ (Uludağ Üniversitesi)
Ferhat KILINÇ (Cumhuriyet Üniversitesi)
Mehmet AKKAŞ (Kastamonu Üniversitesi)
Ayşegül UÇAR (Fırat Üniversitesi)
Sertaç SEYİTOĞLU (Hitit Üniversitesi)
Oğuz ARSLAN (Bilecik Üniversitesi)
Samed İNYURT (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
Hayrettin ACAR (KTU)
Muharrem Tuncay GENÇOĞLU (Fırat Üniversitesi)
Tarık YERLİKAYA (Trakya Üniversitesi)
Gizem MISIR (Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi)
Bahadır OK (Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi)
Gökhan ALTAY (Osmaniye Üniversitesi)
Serpil ASLAN (Tunceli Üniversitesi)
Ali KARCI (İnönü Üniversitesi)
Akın ÖZÇİFT (Celal Bayar Üniversitesi)
Berkan DÜLEK (Hacettepe Üniversitesi)
Burak ÖZBEY (Münih Teknik Üniversitesi)
Bilal GÜMÜŞ (DU)
Yurdağül BENTEŞEN YAKUT (DU)
Erol KILIÇKAP (DU)
Mehmet Fırat BARAN (DU)
Orhan KAVAK (DU)
M. Şefik İMAMOĞLU (DU)
Fevzi ÖNEN (DU)
Mehmet Emin ÖNCÜ (DU)
Mesut HÜSEYİNOĞLU (DU)
Cengiz COSKUN (DU)
Ahmet YARDIMEDEN (DU)

Tamer BAĞATUR (DU)

İbrahim DOLAK (DU)

Abdulhalim KARAŞİN (DU)

Abdülkadir ALBAYRAK (DU)

Ömer Faruk CAN (DU)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Uydu verilerinden karar ağaçları kullanarak orman yangını tahmini (*Araştırma Makalesi*)
Prediction of wildfire using decision trees from satellite data (Research Article)
Nurettin Bešli, Mehmet Emin Tenekeci **899**
- Endüstri 4.0 Uyumlu DC Wattmetre Tasarımı (*Araştırma Makalesi*)
Industry 4.0 Compatible DC Wattmeter Design (Research Article)
Ayetül Gelen, Selçuk Barış Onur **907**
- Mobile diagnosis of thyroid based on ensemble classifier (Research Article)*
Ramazan SOLMAZ, Ahmet ALKAN, Mücahid GUNAY **915**
- RSSI Sinyalleri Kullanarak İç Ortamda Parmak İzi Tabanlı YSA ile Konum Tespitinin Gerçekleştirilmesi (*Araştırma Makalesi*)
Implementation of Location Determination with Fingerprint Based ANN in Indoor Environment Using RSSI Signals (Research Article)
Ayşe TEKBAŞ, Taner TUNCER, Ebubekir ERDEM **925**
- Ateş Böceği Algoritması Tabanlı PI Denetleyici Kullanarak Üç Fazlı Vienna Doğrultucunun Dinamik Performansının İncelenmesi (*Araştırma Makalesi*)
Dynamic Performance Investigation of Three Phase Vienna Rectifier using PI Controller based on Firefly Algorithm (Research Article)
Ö. Fatih Keçecioğlu, Hakan Açıkgöz **933**
- Artificial Intelligence Helps Protect Smart Homes against Thieves (Research Article)*
Zeydin Pala, Orhan Özkan **945**
- Henry Gaz Çözünürlük Optimizasyonu ile Uçak Eğim Kontrol Sistemi için Etkin Kontrolör Tasarımı (*Araştırma Makalesi*)
Efficient Controller Design for Aircraft Pitch Control System Using Henry Gas Solubility Optimization (Research Article)
Veysi Kaçtı, Serdar Ekinci, Davut İzci **953**
- Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile İş Değerlemesi (*Araştırma Makalesi*)
Fuzzy SWARA and Fuzzy Analytic Hierarchy Process Application In Job Evaluation Process (Research Article)
Deniz ŞENGÜL, Gültekin ÇAĞIL **965**
- İstenmeyen E-postaların Tespiti için Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi (*Derleme Makalesi*)
Review of the Methods Used for the Detection of Spam (Review Article)
E. Enes Eryılmaz, Erdal Kılıç **977**

<i>Analyzing of Usage Effect of the Distribution Functions for SMDO Algorithm via Benchmark Function with Matlab Toolbox (Research Article)</i>	
Mehmet Akpamukcu , Abdullah Ates	989
<i>Matrix Encryption Standard (Research Article)</i>	
Orhan Dişkaya, Erdinç Avaroğlu, Hamza Menken	999
<i>A Comprehensive Performance Comparison of Dedicated and Embedded GPU Systems (Research Article)</i>	
Adnan Ozsoy	1011
<i>Password-Based SIMSec Protocol (Research Article)</i>	
Sedat AKLEYLEK1, Engin KARACAN	1021
<i>Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinde Sosyal Ağları Kullanım Düzeylerinin Farklı Parametrelere Bağlı Olarak Belirlenmesi (Araştırma Makalesi)</i> <i>Determination of Social Network Usage Levels in Vocational School Students Based on Different Parameters (Research Article)</i>	
Aynur Sevinç, Buket Kaya	1031
<i>Çoklu Sosyal Ağlarda Aynı Kullanıcıları Belirleme Yöntemi (Araştırma Makalesi)</i> <i>Method to Determine the Same Users on Multiple Social Networks (Research Article)</i>	
Ahmet Müngen, Betül Bulut, Mehmet Kaya	1043
<i>Gauss ve Laplace Gürültülü Kanallar Arasında Optimal Anahtarlama (Araştırma Makalesi)</i> <i>Optimal Channel Switching between Gauss and Laplace Channels (Research Article)</i>	
M. Emin Tutay	1055
Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering	
<i>Rüzgâr türbini ile fotovoltaik modüler sistemin karşılaştırılması: Ege Üniversitesi-İzmir örneği (Araştırma Makalesi)</i> <i>Comparison of a wind turbine and photovoltaic panels: Example of Ege University – İzmir (Research Article)</i>	
Levent BİLİR, Hüseyin Günhan ÖZCAN, Nurdan YILDIRIM, Hüseyin GÜNERHAN	1061
<i>Konik dişlilerin dayanım analizinde tredgold yaklaşımının ANSYS ile araştırılması (Araştırma Makalesi)</i> <i>Investigation of tredgold approach in strength analysis of bevel gears with ANSYS (Research Article)</i>	
Gürkan İrsel	1073

- AISI 1040 çeliğinin tornalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu (Araştırma Makalesi)
Optimizing Surface Roughness Through the Genetic Algorithm Method in Machining of AISI 1040 steel by Turning-Milling (Research Article)
Çetin Özay, Zahide Küçük **1081**
- Kaldırma ve İletme Makinalarında Kullanılan Halatlarının Deneysel ve Nümerik Analizi (Araştırma Makalesi)
Experimental and Numerical Analysis of Steel wires used in Materials Handling Systems (Research Article)
Berna Bolat , Birgül Aşçıoğlu Temiztaş, Muharrem Erdem Boğoçlu , Burak Bayraktaroğlu **1093**
- Sıra-Bağımlı Hazırlık Zamanlı Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Çözümü İçin Bir Diferansiyel Gelişim Algoritması (Araştırma Makalesi)
A Differential Evolution Algorithm for The Solution of General Assembly Line Balancing Problems with Sequence-Dependent Setup Times (Research Article)
Şehmus Aslan, Mehmet Aytekin **1103**
- Diyarbakır İli Şartlarında Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Isıtma Analizi (Araştırma Makalesi)
Heating Analysis with the Horizontal Type Ground Source Heat Pump in Diyarbakır Conditions (Research Article)
Fatih KOÇYİĞİT **1119**
- Kesici Takım Geometrisinin Ti-6Al-4V'nin İşlenmesi Sırasında Oluşan Tırtıklı Talaş Üzerindeki Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Araştırılması (Araştırma Makalesi)
An Investigation into the Effect of Cutting Tool Geometry on the Formation of Serrated Chips during Machining of Ti-6Al-4V: Finite Element Approach (Research Article)
Okan Deniz Yılmaz, Samad Nadimi Bavi Oliaei **1131**
- Ti6Al4V Alaşımına Sol-Jel Yöntemi ile Yapılan Hidroksiapatit Kaplamalarda Dietanolaminin Kaplama Morfolojisine ve Korozyon Dayanımına Etkisi (Araştırma Makalesi)
Effect of Dietanolamine on Coating Morphology and Corrosion Resistance in Hydroxyapatite Coatings Made by Sol-Gel Method on Ti6Al4V Alloy (Research Article)
Canser Gül, Serhat Mutaf, Hülya Durmuş **1139**
- Ti İmplantların Biyofilim Engelleme Amaçlı Nano hBN – HA ile Kaplanması'nın Yüzey Karakteristiğine Etkisinin Belirlenmesi (Araştırma Makalesi)
Determination of the effect of nano-implants coating with nano hBN - Ha for biofilm prevent on surface characteristics (Research Article)
Levent URTEKİN, Hıcbi SEZGİN, Ali SEVİM, Nuran AY **1149**
- Otomobil Radyatöründe Su Bazlı Grafen Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verimliliğe Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi (Araştırma Makalesi)
Experimental Investigation of the Effect on Thermal Efficiency by Means of Water-Based Graphene Nanofluid Usage in an Automobile Radiator (Research Article)
Tarkan Koca **1157**

Wear Resistances of X6Cr17 Ferritic Stainless Steel Surfaces Coated with Al₂O₃ Powders Using Thermal Spray Method (Research Article)
Hülya DURMUŞ, Mustafa TÜRKMEN, Uğur ÇALIGÜLÜ **1167**

Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)
Investigation of The Biogas and Electric Production Potential and Cost from The Cattle Waste in Kayseri (Research Article)
Hande NURALAN POYRAZ, Gülşah ELDEN, Gamze GENÇ **1175**

Maden Mühendisliği / Mining Engineering

Kurşunun grafen oksit nanopartikülü ile giderimi ve grafen oksitin geri kazanımı (Araştırma Makalesi)
Removal of Lead with graphene oxide nanoparticle and recovery of graphene oxide (Research Article)
Sevil Akçağlar **1187**

A Comparative Study of the Total Phenolic, Total Antioxidant, and Ascorbic Acid Contents of the Cistus criticus, Fermented Rooibos, and Green Tea Infusions (Research Article)
Tugba AKTAR **1197**

B-Siklodekstrin Bazlı Kompozitin Sentezi Ve Katyonik Boya Gideriminde Kullanımı (Araştırma Makalesi)
Synthesis of B-Cyclodextrin-based Composite and Its Use in Cationic Dye Removal (Research Article)
Ayfer Yidirim **1205**

Tetrachloroethylene ve Peroksiasetik Asit ile Klasik ve Mikrodalga Enerji Kullanarak Kömürlerden Organik Desülfürizasyon (Araştırma Makalesi)
Sulphur Desulfurization from Coal with Tetrachloroethylene and Peroxyacetic Acid by Conventional and Microwave Heating (Research Article)
Selçuk Özgen, Okyat Bayat **1213**

Van Gölü Doğal Sediment ve Modifiye Sediment Üzerine Krom (III) Adsorpsiyonu (İzoterm ve Termodinamik Analiz Çalışması) (Araştırma Makalesi)
Chrome (III) Adsorption On Van Lake Natural Sediment and Modified Sediment (Isotherm and Thermodynamic Analysis Study) (Research Article)
İhsan Alacabey, Ali Rıza Kul, M. Şakir Ece, Hüseyin Alkan **1225**

Kromit Tesis Atıklarının Knelson ve Falcon Konsantratör ile Zenginleştirilmesi (Araştırma Makalesi)
Enrichment of Chromite Processing Plant Tailing with Knelson and Falcon Concentrator (Research Article)
Selçuk Özgen **1233**

Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area (Research Article)
Halil İbrahim Şenol, Abdulkadir Memduhoğlu, Mustafa Ulukavak **1241**

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

- Otonom Araçların Özellikleri, Mevcut Durumu ve Gelecekteki Yerinin Ulaştırma ve Trafik Üzerine Etkisi Bağlamında İncelenmesi (Derleme Makalesi)
A Review of Characteristics and Existing Case and Future Position of Autonomous Vehicles on the Context of Effects over Transportation and Traffic (Review Article)
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ **1251**
- Demiryollarında Gelişme Eğilimleri, Yüksek Hızlı Demiryollarının Küresel Mevcut Durumu ve Ülkemiz İçin Bir Derleme (Derleme Makalesi)
A Review of Development Trends on Railways, Existing Case on Global Scale of High Speed Railways and Turkey (Review Article)
Mehmet Fatih Altan, Mehmet Çağrı Kızıltaş, Yunus Emre Ayözen **1261**
- Ulaştırmada Türel Seçim ve Toplu Ulaştırma Hizmet Parametreleri Bağlamında Bir Derleme (Derleme Makalesi)
A Review on the Context of Modal Choice on Transportation and Mass Transport Service Parameters (Review Article)
Mehmet Fatih Altan, Mehmet Çağrı Kızıltaş, Yunus Emre Ayözen **1269**
- Yeşil Binalar için Analitik Ağ Süreci (AAS) Kullanılarak Yüklenici Seçimi (Araştırma Makalesi)
Contractor Selection for Green Buildings Using the Analytic Network Proces (ANP) (Research Article)
Emre Caner Akçay **1277**
- Aşağı Seyhan Ovası (Mersin-Adana) Yeraltı ve Yüzey Sularının Çeşitli Grafik Yöntemlerle Sınıflandırılması (Araştırma Makalesi)
Classification of Ground and Surface Waters of Lower Seyhan Plain (Mersin-Adana) by Various Graphical Methods (Research Article)
Can AKBULUT CAMUZCUOĞLU, Cüneyt GÜLER **1285**
- Gelişmekte Olan ve Gelişmiş Ülkelerde Yüksek Hızlı Demiryolu Yatırım Kriterlerinin İncelenmesi (Derleme Makalesi)
A Review of High Speed Railway Investment Criterias in Developed and Developing Countries (Review Article)
Mehmet Fatih Altan, Mehmet Çağrı Kızıltaş, Yunus Emre Ayözen **1297**
- Geosentetik Donatı Sayısı ve Konumunun Farklı Boyutlu Yol Numuneleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)
Investigation of Effect of Geosynthetic Reinforcement and Placement on Road Samples with Different Size (Research Article)
Elif Çiçek **1307**
- Coğrafik Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi (Araştırma Makalesi)
The Effect of Site-Specific Design Spectra for Geographical Location on Reinforced-Concrete Structure Performance (Research Article)
İbrahim Baran Karaşın, Ercan Işık, Alper Demirci, M. Cihan Aydın **1319**

- Karayolu ve Demiryolu Dâhilinde Köprü Tasarımının İncelenmesi (Derleme Makalesi)
A Review of Bridge Desing on the Context of Highway and Railway (Review Article)
Mehmet Çağrı Kızıldaş **1331**
- Bingöl ve Elazığ İlleri Özelinde 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre İvme Spektrumlarının Değişiminin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)
Investigation of the Change of Acceleration Spectra in Bingöl and Elazığ Provinces According to 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes (Research Article)
Ömer Faruk Nemutlu, Bilal Balun, Ahmet Benli, Ali Sarı **1341**
- Betonarme Kirişlerde Makro Fiber Sentetik Katkı Kullanımının Etkileri (Araştırma Makalesi)
Effects of Using Macro Fiber Synthetic Additives in Reinforced Concrete Beams (Research Article)
Selçuk KAÇIN, Fatma SOYALAN, Orhan KAHRAMAN **1357**
- Suriyeli Göçmen ve Türk Vatandaşı Ailelerde, Evsel Atık ve Geri Dönüşüm Özelliklerinin Karşılaştırmalı Analizi (Araştırma Makalesi)
Comparative Analysis of Domestic Waste and Recycling Properties in Syrian Immigrant and Turkish Citizen Families (Research Article)
Hakkı Gülşen, İbrahim Yenigün **1365**
- Bazalt Agregalı Bitümlü Sıcak Karışım Tabakalarının Dinamik Rijitlik Modülünün Hesaplanması ve Marshall Tasarım Kriterleriyle Karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)
Determination of Dynamic Stiffness Module of Basalt Aggregated Bituminous Hot Mix Layers and Comparison with Marshall Design Criteria (Research Article)
İhsan Güzel, Ahmet Benli **1373**
- Kafes yapıların JAYA algoritmasıyla doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarımı (Araştırma Makalesi)
JAYA algorithm for optimum design of truss structures under natural frequency constraints (Research Article)
S. Özgür Değertekin, Gülay Yalçın Bayar **1385**
- Hareketli Tabanlı Akarsularda Yan Savak Civarındaki Oyulma Derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama İle Belirlenmesi (Araştırma Makalesi)
Determination Of Scour Depth Around Side Weir In Live Bed River With Genetic Expression Programming (Research Article)
Hayrettin Kaya, Fevzi Önen **1397**
- Tek Katlı Betonarme Bir Yapı Üzerinde Operasyonel Modal Analiz Uygulaması (Araştırma Makalesi)
Operational Modal Analysis Application on a Single Storey Reinforced Concrete Building (Research Article)
Dilek Okuyucu **1407**
- Pazar Yerinde Gürültü Kirliliğinin Belirlenmesi: Bursa İli Örneği (Araştırma Makalesi)
Determination of Noise Pollution in Market Place: Bursa Case Study (Research Article)
Melike Yalılı Kılıç, Sümeyye Adalı **1421**

Geoteknik Mühendisliğinde Açık Kaynaklı Yazılım Geliştirme Araçlarının Kullanımı: Hidrometre Deneyi Örneği (<i>Araştırma Makalesi</i>) <i>Use Of Open-Source Software Development Tools In Geotechnical Engineering: Example Of Hydrometer Test (Research Article)</i>	1431
--	-------------

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.

Uydu verilerinden karar ağaçları kullanarak orman yangını tahmini

Prediction of wildfire using decision trees from satellite data

Nurettin Beşli¹, Mehmet Emin Tenekeci^{2*}

¹ Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, nbesli@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, etenekeci@harran.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 20 Aralık 2019
Düzeltilme: 3 Mart 2020
Kabul: 5 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

Orman yangınları tahmini, Uydu verileri, Karar ağaçları, Veri madenciliği

ÖZET

Tüm canlılık için önemli olan ormanların, yangınlar ile yok edilmesi doğaya verdiği zararın yanı sıra can ve mal güvenliğini de ciddi şekilde tehdit eder. Orman yangınları doğal yollarla veya bilinçli insan davranışları ile gerçekleşir. Orman yangınlarının önceden tahmini veya erken keşfi hızlı müdahale ve önlem almayı sağlayacaktır. Literatürde orman yangınlarını tahmin etmek için meteorolojik verileri ve uzaktan algılama verileri kullanılmaktadır. Bununla birlikte meteorolojik veriler ile mevcut orman yangınının davranışı da belirlenebilmektedir. Bu çalışmada uydulardan alınan veriler ile orman yangınlarının tahmini yapılmıştır. Uydudan alınan verilerden hesaplanan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NVDI), Arazi Yüzeyi Sıcaklığı (LST) ve Termal anomali (TA) verileri kullanılarak orman yangınları tahmin edilmiştir. Bahsedilen verilerden tahmin yapmak için karar ağaçları kullanılmıştır. Karar ağaçlarının eğitiminde kullanılmak için veri setindeki verilerin %70' i kullanılmıştır. Geri kalan %30 veri ile oluşturulan modelin testi gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test işlemi farklı veriler ile 10 defa tekrarlı yapılarak uygulanan yöntemin ortalama performansı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen denemelerde ortalama %98,62 duyarlılık oranı ile gerçekleşen yangınlar doğru tahmin edilmiştir. Tüm denemelerde yapılan tahminler için ortalama %93,11 doğruluk ile gerçek durum belirlenmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.661925

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 December 2019
Revised: 3 March 2020
Accepted: 5 March 2020

Keywords:

Wildfire prediction, Satellite data, Decision tree, Data mining

ABSTRACT

Destruction of forests, which are important for all vitality, with fires, seriously threatens the safety of life and property. Wildfires occur by natural ways and conscious human behavior. The prediction and early detection of wildfires will allow for rapid intervention and prevention. In the literature, meteorological data and remote sensing data were used to predict forest fires. In addition, by using meteorological data, the behavior of existing wildfires could also be determined. In this study, wildfires were predicted from data received from satellites. Wildfires were predicted by using Normalized Differential Vegetation Index (NVDI), Land Surface Temperature (LST) and Thermal Anomaly (TA) data calculated from downloaded satellite data. Decision trees were used to make predictions using mentioned data. 70% of the data in the data set were used for the training of decision trees. The trained model was tested with the remaining 30% data. Training and testing process were repeated 10 times with different data and the average performance of the proposed model was determined. Occurred fires were correctly predicted on the average of 98.62% sensitivity in the experiments. For the predictions in all trials, the actual situation was determined with an average of 93.11% accuracy.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Emin Tenekeci
✉ etenekeci@harran.edu.tr

Giriş

Ormanlar, dünyada karadaki doğal hayatın devamı ve çeşitliliği açısından en önemli habitatır. Hayvan ve bitki çeşitliliğinin en yoğun yerleşim alanı olan ve canlılığın devamı açısından en önemli madde olan oksijenin üretilmesini sağlayan ormanların korunması oldukça önemlidir. Ancak tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ormanların varlığı ciddi tehdit altındadır. Ormanlara en fazla zarar veren ise orman yangınlarıdır. [1] çalışmasında orman yangınlarının başlıca sebepleri genel olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Bunlardan ilki yıldırım düşmesi, elektrik hatları, yanardağ patlaması ve aşırı derecede yükselen hava sıcaklıkları gibi doğal olaylardır. İkinci sebep olarak ise bilinçli ve bilinçsiz insan kaynaklı davranışlar olduğu ifade edilmiştir.

Türkiye de bulunduğu Akdeniz iklim kuşağından dolayı çokça orman yangınları ile karşı karşıya kalmaktadır [2]. Orman genel müdürlüğü verilerine göre 2015 yılında 22,3 milyon hektar orman alanı bulunmaktadır. 2017 yılında ise çıkan 2411 orman yangınında 119092 hektar ormanlık alan yanarak yok olmuştur [3].

Doğal sebeplerden çıkan yangınlarının önlenmesi mümkün olmamaktadır. İklim değişikliği sonucu yağmur oranında azalma ve yıllık ortalama sıcaklık değerinde artma ormanlarda meydana gelecek yangın ihtimalini arttırmaktadır. Bu nedenle yangına sebebiyet verecek doğal sebeplerin takibi ve yangın çıkma ihtimali olan alanların belirlenmesi, hızlıca müdahale imkânı sağlayacaktır. Bu şekilde etkilenecek orman alanı azaltılabilecektir. Böylece yetkili kuruluşları harekete geçirme ve gerekli kaynak planlaması ile müdahale ekiplerinin hızlı müdahalesi mümkün kılınacaktır [4].

Yangın meydana gelmeden tahmini kadar önemli bir diğer konu da yangının davranışının belirlenmesidir. Çünkü davranışını belirleme doğru müdahale ile yangının hızlı sonlandırılmasını sağlayacaktır. Ancak yangınların yayılma davranışını belirlemek oldukça zorlu bir işlemdir. Modellemeyi etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Özellikle hızlı değişim gösteren hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti, rüzgâr yönü, hava nemi gibi iklim parametreleri izlenmelidir. Bununla birlikte

yangın olan bölgenin topoğrafik yapısı da oldukça önemlidir.

Orman yangınlarının tahmini için gelişen yeni yöntem ve verilerin kullanımı ile daha başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Özellikle uydulardan alınan uzaktan algılama verilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Yakın zamana kadar yüksek maliyetli olan bu verilerin elde edilmesi son yıllarda daha kolaylaşmıştır. Ayrıca alınan veriler, yüksek çözünürlüklü olup daha sık kaydedilmektedir. Alınan bu görüntüler yangının oluşumu ve yayılması için gerekli olan yangının dağılımı ve yoğunluğu, bölgeye en yakın su kaynağı, toprağın durumu, bitki örtüsünün durumu gibi ortam hakkında önemli bilgiler taşımaktadır. Meteorolojik verilerin birlikte kullanımı ile yangınlar daha doğru izlenerek müdahale daha etkin yapılabilmektedir. Bununla birlikte IoT teknolojisinin gelişimi ile sürekli ulaşılabilmeyen alanlara yerleştirilen algılayıcılar ile takip edilmesi mümkün olacaktır [5].

Uydulardan alınan veriler, meteoroloji verileri, IoT cihazlarından toplanan veriler farklı özellikte ve boyutta olması modellemenin ve analizlerin bilgisayar ortamında yapılmasını zorunlu kılmıştır. Oluşan büyük veriden anlamlı ve değerli bilgi çıkarılması bilgi teknolojilerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle veri madenciliği ve yapay zekâ algoritmaları son yıllarda verileri işlemede oldukça yoğun kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile hayatın her alanında özellikle tıbbi çalışmalarda [6], hassas tarım uygulamalarında [7,8], klasik ve sosyal medya [9] alanında oluşan büyük veri yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilerek anlamlı bilgiler çıkarılmaktadır.

Uzaktan algılama başlı başına büyük veri üreten bir veri toplama aracıdır. Özellikle farklı algılayıcıların kullanımı ve yüksek çözünürlüklü algılayıcıların sık veri kaydetmesi analiz edilmesi gereken veri miktarını arttırmaktadır. Orman yangınlarının uydu verileri ile tahmin edilmesi için kullanımında veri çeşitliliği de analizi zorlaştırıcı etkenlerdendir [10,11].

Orman yangınlarının tahmini ve modellemesinin, makine öğrenme ve veri madenciliği algoritmaları ile yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. [12-15] çalışmalarında makine öğrenme yöntemleri ile orman yangınının tahmini yapılmıştır. Padilla ve

arkadaşları insanların sebep olduğu orman yangınlarını tahmin etmek için mantıksal regresyon yöntemi kullanmıştır [12]. Cheng ve arkadaşları ise uzamsal olarak orman yangını tespit etmek için yinelenen yapay sinir ağı kullanmıştır [13]. Satir ve arkadaşları ise yapay sinir ağları kullanarak çalışma yapılan bölgeye ait orman yangın risk haritası çıkarmıştır [14]. Dieu ve arkadaşları SVM, Rasgele orman ve YSA yöntemleri ile orman yangınlarını tespit etmişlerdir [15] ve Arpacı ve arkadaşları ise en yüksek entropi ile yangın davranışını analiz etmiştir [16]. Castelli ve arkadaşları ise genetik programlama ile orman yangınlarını tahmin etmiştir [17]. Arrue ve arkadaşları ise kızılötesi kamera ile %90 doğru tespit oranında yangınları tespit etmiştir [18]. Cortez ve arkadaşları meteorolojik veriler kullanarak destek vektör makinaları ile orman yangınlarını %75 oranında tespit etmiştir [19]. Bu çalışmada yerel meteoroloji verileri gerçek zamanlı olarak toplanmıştır. Bu şekilde uydu verisine göre çok düşük maliyet ile elde edilen veriler ile tahmin işlemi yapılmaya çalışılmıştır. Kanada’ da yapılan bu çalışmada beş meteoroloji verisi ile tahmin için Yangın Hava İndeksi (Fire Weather Index - FWI) önerilmiştir. Çalışma sonucu çok yüksek başarılı sonuçlar elde edilmemesine rağmen kullanılan verinin düşük maliyeti sebebi ile oldukça dikkat çekici olmuştur. Sayad ve arkadaşları uydu verileri kullanarak yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları ile orman yangınlarını tahmin etmiştir.[20].

Yaptığımız bu çalışmada ise makine öğrenme algoritmalarından Karar Ağaçları yöntemi ile uydu verileri kullanılarak orman yangınlarının tahmini gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilecek sonuçlar literatürde kullanılan farklı veri madenciliği algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılarak etkinliği gösterilmiştir.

Çalışmamızda uydulardan alınan uzaktan algılama verilerinden hesaplanmış bazı bilgiler kullanılmıştır. Bunlar; Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index = NDVI), Arazi Yüzeyi Sıcaklığı (Land Surface Temperature = LST) ve Termal anomali (Thermal Anomalies = TA) değeridir. Bu değerler ile karar ağaçları kullanılarak orman yangınları tahmin edilmiştir.

Yayının geri kalan kısmında; ikinci bölümde kullanılacak veri seti, üçüncü bölümde uygulanacak yöntemlerden bahsedilecektir.

Dördüncü bölümde performans ölçütleri ifade edilirken, beşinci bölümde ise gerçekleştirilen denemeler ve elde edilen sonuçlar verilerle karşılaştırmalar yapılacaktır. Son bölümde çalışmanın katkıları ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

Veri Seti

Çalışmamızda, orman yangınlarının tahmini için kullanılacak veriler Kanada’nın ormanlık alanlarında 2013 – 2014 yılları arasında meydana gelmiş olan orman yangınları [21] ve uydulardan alınacak bilgilerden oluşmaktadır. Belirtilen tarih aralığındaki uydu verilerine göre eğitim ve tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veri seti [20] çalışmasında kullanılarak Mendeley veri seti arşivinde erişime açılmıştır. Çalışmada bu veri seti alınarak kullanılmıştır.

Veriler Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) algılayıcıdan alınmıştır. MODIS kayıtları NASA arşivlerinde erişilebilir durumdadır [22]. Tahminde kullanılacak indeks ve veriler MODIS tarafından kaydedilmektedir. Çalışmamızda tahmin için kullanılacak olan veriler, NDVI MOD13Q1, LST MOD11A1 ve TA MOD14A1 kodu ile kaydedilen verilerden hesaplanmaktadır.

NDVI indeksi, bitki örtüsünün rengi ve canlılığı hakkında bilgi taşımaktadır. LST ise belirlenen bölgede toprak sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Son olarak TA değeri ise sıcaklık anomalisi olarak ifade edilmek ve yangın göstergesi olarak işleme alınmaktadır. NDVI ve LST parametreleri yangın esnasında toprak ve bitki örtüsünde meydana gelecek farklılaşmayı belirlemek için seçilmiştir. TA parametresi ise direkt yangın ile ilgili bilgi taşımakta ve ilk iki parametrede elde edilen sonucu kuvvetlendirmek için seçilmiştir.

NDVI bitkilerin foto sentetik aktiviteleri hakkında bilgi taşımaktadır. Ormandaki bitki örtüsünün ne kadar yeşil olduğunu belirtmektedir. Bu şekilde bölgede canlı bitki miktarını belirlemek mümkün olur. Bitkiler güneşten aldıkları elektromanyetik enerjinin 0,63 μm – 0,69 μm dalga boyu aralığındaki kırmızı ışığı absorbe ederek fotosentezde kullanır. Buna karşılık 0,7 μm ve üzeri dalga boylarını yansıtırlar. Bu şekilde gözle yeşil olarak görülürler. NDVI değerinin hesaplanması için yansımalarından kırmızı ve yakın kızılötesi

bantları kullanılarak Eşitlik 1'e göre hesaplama yapılır. Bu değerler Terra uydusunda bulunan MODIS algılayıcıdan MOD13Q1 kodlu referans verisi kullanılarak elde edilmiştir.

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad (1)$$

NDVI değeri -1 ile 1 arasında hesaplanır. -1 değeri bitki örtüsü olmayan alanlarda hesaplanırken 1 değeri çok yoğun bitki örtüsünü ifade eder. Hesaplama için 0,76 – 0,90 aralığındaki yakın kızıl ötesi bant (NIR) ile 0,63 – 0,69 arası kırmızı bant (RED) kullanılır. Bitki örtüsünün canlılık durumu yana birliğini etkiler. Bu nedenle NDVI değeri yangın çıkma ihtimali konusunda bilgi taşımaktadır.

LST, toprağın ışıma sıcaklığını temsil eder. MODIS algılayıcıdan MOD11A1 verisi kullanılarak elde edilir. Gerçek LST verisi direk olarak MODIS'ten alınamamaktadır. HDF-EOS formatında belirli katsayılar ile birlikte alınan SDS değerinden hesaplamalar ile belirlenir. LST, Eşitlik 2 de verildiği şekli ile dönüşüm yapılarak Celcius olarak hesaplanmaktadır. SDS, algılayıcıdan 7500 ile 65535 aralığında alınmaktadır. Hesaplama için kullanılan k ölçeklendirme katsayısı ise 0,02 alınmaktadır. Bu katsayı HDF-EOS formatı şeklinde gelen veriden alınmaktadır. Elde edilen değer Kelvin değeri olduğu için 273 çıkarılarak Celcius' a dönüştürülmüştür. Hesaplanan LST, bitki örtüsü ve çıplak toprak sıcaklıklarının birleşimidir.

$$LST = (SDS * k) - 273 \quad (2)$$

TA değeri, yüzeyden yansıyan güneş ışığı ile yüzey sıcaklığı toplamının zamanla değişimi bilgisini içermektedir. Diğer özellikler gibi MODIS' den alınan MOD14A1 verisi ile elde edilmektedir. 1 ile 10 arasında bir değer almaktadır. Elde edilen değer yüksek olması ısı farkının yüksek olduğunu belirtmektedir. Çalışmamızda kullanılan veri setinde toplam 804 örnek bulunmaktadır. Örneklerin 386 tanesinde yangın bilgisi olmakta, 418 tanesinde ise yangın bilgisi bulunmamaktadır. Veri setinde bulunan özellikler ve özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tahmin için karar ağaçlarının kullanımı

Genel olarak sınıflandırma algoritmalarından olan Karar ağaçları son yıllarda veri madenciliği alanında da yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yaygın kullanımının en önemli sebebi kapalı kutu algoritmalara göre daha anlaşılır kurallar dizisi ile sınıflandırma ve bilgi

çıkarma işlemi gerçekleştirmesidir [23]. Sınıflandırmayı aşamalı karar verme dizisi haline getirmektedir

Tablo 1. Veri setinin özellikleri

Table 1. Dataset features

Öznitelik	Üst Sınırlar	Veri Setindeki Sınırlar	Standart Sapma
<i>NDVI</i>	-1 – 1	0,030 – 0,781	0,1015
<i>LST</i>	-123 – 1037,7	-10,41 – 37,89	8,0743
<i>TA</i>	1 – 10	3 – 9	0,6567
<i>Durum</i>	0 / 1	0 / 1	0,5000

Karar ağaçlarında, ağaç yapısı kök düğümü, iç düğümler (dallar) ve uç düğümlerden (yapraklar) oluşur. Ağaç yapısı, eğitim verilerine göre oluşturulmaktadır. Eğitim örneklerine ait özellikler ağacın düğümlerinin yerleşimini ve eşik değer katsayılarını belirlemek için kullanılmaktadır. Oluşturulan karar ağacı özellik değerleri ve eğitim sürecinde belirlenen eşik değerlerine göre düğümlerde hareket ederek uç düğüme ulaşır. Bu şekilde örnek için sınıflandırma yapılmaktadır. Düğümlerden ayrılan dalların en yüksek farklılığa sahip hale getirilmesi veya geçiş yapılan düğümlerin benzerliğinin en düşük hale getirilmesi için en uygun eşik değerleri belirlenmelidir [23]. Her bir giriş örneği için uç düğüme ulaştıran tek bir yol bulunacak ve sonuçta karar bu yola göre verilecektir. Yapılacak uygulamaya göre tek veya çok bantlı karar verme yapılabilir [24]. Tek değişken ve ikiden fazla sınıf olursa aynı özellik farklı seviyelerde sorgulanmaktadır. Bu şekilde ikiden farklı alt küme veya sınıf oluşturulmaktadır.

Oluşturulacak ağaç yapısında düğümlerin hangi özellikler ile oluşturulacağı ve seçilecek eşik değerinin belirlenmesi için de alternatif yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en fazla kullanılanları bilgi kazancı, Gini Farklılık indeksi, Towing kuralı ve Ki-Kare olasılık istatistiğidir. Çalışmamızda karar ağacının oluşturulması ve eğitimi için Gini Farklılık İndeksi kullanılmıştır. Karar ağacı eşitlik 3 ve 4 te verildiği şekilde hesaplanan Gini Kazancı

göre dallar arası farklılığı en büyük yapacak şekilde oluşturulmuştur [20].

$$Gini\ Kazancı(T, A) = Gini(T) - P(T_l) * Gini(T_r) - P(T_r) * Gini(T_l) \quad (3)$$

$$Gini(T) = \sum p_i * (1 - p_i) = 1 - \sum_{j=1}^J p_j^2 \quad (4)$$

p_i ağaçta i . sınıfın bulunma olasılığını ifade ederken J değeri toplam sınıf sayısını belirtmektedir. $P(T_r)$ ve $P(T_l)$ ise düğümün sağ ve sol yanındaki dalların ağırlığını belirtmektedir.

Karar ağaçlarının uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kullanıldığı bazı çalışmalar literatürde bulunmaktadır [24 - 26]. Uzaktan algılamada kullanılacak veriler uydulardan alınan farklı bantlardaki görüntülerdir. Bu görüntülerden elde edilen indeks değerleri uydu görüntülerinin sınıflandırmasında öznitelikler olarak kullanılmıştır.

Çalışmamızda NDVI indeksi, LST değeri ve TA değeri parametre olarak kullanılmıştır. Eğitim örneklerinin değerlerine göre karar ağacı oluşturulacaktır. Oluşturulan karar ağacı eğitimde kullanılmayan örnekler ile test edilecektir.

Performans Ölçütleri

Yapılan çalışma sonucunda oluşturulacak modelin doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç için veri setinin bir kısmı eğitim için kullanılmış ve geri kalan örnekler eğitime katılmadan modelin doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. Yapılan denemelerde çalışma performansı belirlemek için tahminlerin dört durumu belirlenmiştir. Bunlar;

- Doğru Pozitif (True Positive - TP): Doğru tahmin edilen yangın olmuş örnek
- Yanlış Pozitif (False Positive - FP): Yanlış olarak yangın olduğu tahmin edilen ancak yangın olmayan örnek
- Doğru Negatif (True Negative - TN): Doğru tahmin edilen yangın olmayan örnek
- Yanlış Negatif (False Negative - FN): Yanlış olarak yangın olmadığı tahmin edilen ancak yangın olan örnek

Bu değerlerin değerlendirilmesi için Tablo 2' de gösterilen karşıtlık matrisi kullanılacaktır. Bu

matris ile Eşitlik 5-9' da verilen performans ölçütleri hesaplanmıştır.

$$Duyarluluk = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

$$Özgüllük = \frac{TN}{FP+TN} \quad (6)$$

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (7)$$

$$Hassasiyet = \frac{TP}{TP+FP} \quad (9)$$

Duyarluluk değeri oluşturulan modelin yangın olan alanları doğru tahmin performansını belirlemektedir. Özgüllük değeri ise yangın olmayan alanların doğru tahmin oranını vermektedir. Bunların birleşimi olarak da

Tablo 2. Karşıtlık matrisi
Table 2. Confusion matrix

		Tahmin Edilen Değerler	
		Yangın Olan Sınıf	Yangın Olmayan Sınıf
Gerçek Değerler	Yangın Olan Sınıf	TP	FN
	Yangın Olmayan Sınıf	FP	TN

doğruluk değeri hesaplanmaktadır. Hassasiyet değeri ise yangın alanlarının tahmin edildiği durumdaki doğruluk değerini ifade etmektedir.

Uygulama sonuçları ve tartışma

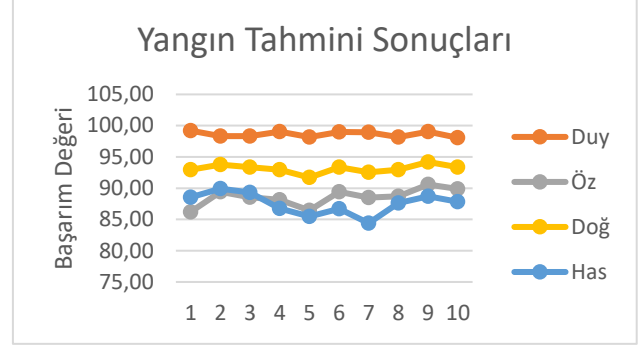
Bu çalışmada orman yangınlarının tahmini, uzaktan algılama verileri kullanılarak karar ağaçları ile gerçekleştirilmiştir. Orman yangının tahmini için NDVI indeksi, LST değeri ve TA değeri kullanılarak karar ağacı modellenmiştir.

Veri seti içerisinde bulunan 804 örneğin %70' i olan 563 tanesi rasgele seçilerek eğitime tabi tutulmuştur. Eğitilen karar ağacı geriye kalan 241 test örneği tahmin etmesi için kullanılmıştır. Yapılan uygulamada oluşturulan karar ağacının yapısını seçilecek eğitim örnekleri

belirleyecektir. Buna bağlı olarak test örnekleri tahmin edilecektir.

Denemelerde veri seti harmanlanarak 10 defa rastgele seçilen veriler ile eğitim ve test işlemi tekrar edilmiştir. Gerçekleştirilen 10 farklı deneme sonuçları ve sonuçlara göre hesaplanan performans kriterleri Tablo 3' de verilmiştir. Tablo 3' de ilk denemede 125 adet yangın ve 116 adet yangın olmayan örnek test için seçilmiştir. Bu örnekler rastgele seçilmiştir. Yapılan denemede 124 yangın olayı belirlenmiş, ancak 1 yangın olayı doğru tahmin edilememiştir. Benzer olarak 116 yangın olmayan örnekten 100 tanesi doğru tahmin edilirken 16 tanesi hatalı olarak yangın olduğu tahmin edilmiştir.

Elde edilen sonuçların farklılığından da anlaşıldığı eğitim ve test için seçilen verilerin farklılaşması sonuçları etkilemektedir. Duyarlılık değeri yangın olan örneklerin doğru bir şekilde tahminini ifade ettiğinden en değerli performans ölçütüdür. Elde edilen sonuçlarda duyarlılık %99 değerine kadar çıkmıştır. Ancak en yüksek değer elde edildiği denemede test için seçilen örneklerde yangın olanların fazlalığı dikkat çekmektedir. Bu nedenle dikkate alacağımız tüm denemelerin ortalaması olacaktır. 10 deneme sonucunda ise ortalama %98,62 ile gayet tatmin edici değerler alınmıştır. Bu denemelerin sonuçları grafiksel olarak Şekil 1 gösterilmiştir.



Şekil 1. 10 denemede elde edilen performans kriterlerinin değişimi

Veri madenciliği ve makine öğrenme çalışmalarında aranan bilginin doğru tahmini kadar yanlış tahmin oranının da düşük olması istenir. Bu şekilde modelin performansı doğru olarak belirlenmiş olur. Bu iki bilgiyi birlikte veren ölçüt Doğruluk değeri olacaktır. Alınan sonuçlar incelendiğinde en başarılı sonuç %94,19 ile 9. denemede elde edilmiştir. Bununla birlikte tüm denemelerin ortalaması olarak %93,11 ile model doğru tahmin gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda karar ağaçları kullanarak orman yangınlarının tespitinde elde edilen sonuçlar Tablo 4' de literatürdeki bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Diğer çalışmalarda sonuç olarak duyarlılık değeri verildiğinden karar ağaçları ile elde edilen duyarlılık değeri verilmiştir.

Tablo 3. Karar ağaçları ile orman yangını belirleme için 10 farklı deneme sonuçları

Table 3. 10 different trial results for determination of forest fire with decision trees

Deneme No	TP	FN	FP	TN	Duyarlılık	Özgüllük	Doğruluk	Hassasiyet
1	124	1	16	100	99,20	86,21	92,95	88,57
2	116	2	13	110	98,31	89,43	93,78	89,92
3	117	2	14	108	98,32	88,52	93,36	89,31
4	105	1	16	119	99,06	88,15	92,95	86,78
5	106	2	18	115	98,15	86,47	91,70	85,48
6	98	1	15	127	98,99	89,44	93,36	86,73
7	92	1	17	131	98,92	88,51	92,53	84,40
8	106	2	15	118	98,15	88,72	92,95	87,60
9	102	1	13	125	99,03	90,58	94,19	88,70
10	101	2	14	124	98,06	89,86	93,36	87,83
Ortalama					98,62	88,59	93,11	87,53
En Yüksek					99,20	90,58	94,19	89,92
En Düşük					98,06	86,21	91,70	84,40
Standart Sapma					0,46	1,39	0,68	1,72

YSA ve SVM yöntemleri [20] çalışmasında birlikte denenerek önerilmiştir. Çalışmamızda [20] çalışmasında kullanılan veri seti kullanılmış ve daha başarılı sonuç alınmıştır. Bu çalışma orman yangınlarını tahmin için uzaktan algılama verilerini kullanmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri setinin aynısı kullanılmıştır. [27] çalışmasında önerilen ISTIFF ise geçmişteki orman yangınları bilgisinden dinamik geri beslemeleri sinir ağı ile zaman serisi modellemesi yapmıştır. Oluşturduğu model ile gelecekteki orman yangınlarını tahmin etmiştir. [28] çalışmasında kullanılan STIFF modeli [27] çalışması gibi önceden gerçekleşen orman yangınlarının konumlarına göre zaman serisi modellemiştir. Ek olarak veri setinin YSA modelini oluşturmuştur. Her iki modelden elde edilen sonuçları kullanarak regresyon ile tahminlerini gerçekleştirmiştir.

Elde edilen sonuçlar çalışmamızda uygulanan karar ağaçları yönteminin diğer çalışmalardan daha başarılı olduğunu göstermiştir. Deneme ve test veri setlerinin rasgele seçilmesinden dolayı yöntemin genel başarısını ortaya koymak için 10 deneme gerçekleştirilerek ortalama sonuç verilmiştir.

Ayrıca çalışmamızda kullanılan veri seti [20] ile aynı veri seti olduğu için karşılaştırma bu çalışma ile olması daha doğru olacaktır. Çalışmamızda kullanılan karar ağaçları ile elde edilen %98,62 doğruluk oranı [20] çalışmasından daha yüksek doğruluk ile yangınları tahmin etmiştir. [20] çalışmasında diğer performans parametreleri verilmemesinden dolayı karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak duyarlılık değeri diğer parametrelerin hesaplanmasından etkili olduğundan çok yüksek değişiklik göstermeyeceği varsayılabilir.

Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada Kanada için alınmış uzaktan algılama verilerinden orman yangınlarının tahmini gerçekleştirilmiştir. Gayet başarılı ve cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir. Benzer yapılan çalışmalara göre daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Bu çalışmada uzaktan algılama bilgilerinin benzer uygulamalar için kullanılabilmesi anlaşılmıştır. Ayrıca tahmin başarısını arttırmak için farklı uygulamalarda kullanılan meteorolojik veriler ve eski orman yangını kayıtları da kullanılabilir. Bu şekilde

Tablo 4. Farklı çalışmalarda elde edilen sonuçlar

Table 4. Results obtained from different studies

	Yöntem	Duyarlılık (%)
[20]	YSA	98,32
[20]	SVM	97,48
[27]	ISTFF	95
[28]	STIFF	65
	Karar Ağaçları	98,62

daha fazla parametre ile daha yüksek başarı oranına ulaşılabilir. Ayrıca uygulanan yöntem farklı veri madenciliği yöntemleri ile birlikte hibrid bir şekilde kullanılarak ta daha başarılı tahminler gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Dayananda P. W. A., "Stochastic models for forest fires", Ecological Modeling, Volume 3 (1977), 309-313.
- [2] Altan, G., Türkeş, M., Tatlı, H., "Çanakkale ve Muğla 2009 yılı orman yangınlarının Keetch-Byram Kuraklık İndisi ile klimatolojik ve meteorolojik analizi." In: 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book: 263-274. Istanbul Technical University, 27-29 April 2011, Istanbul. Turkey.
- [3] Türkiye Cumhuriyeti Orman genel müdürlüğü, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Sayfalar/Istatistikler.aspx> (Erişim 10/01/2019)
- [4] C.S. Eastaugh, H. Hasenauer, "Deriving forest fire ignition risk with biogeochemical process modelling Environ." Model. Softw., 55 (2014), pp. 132-142
- [5] Tedim F., Leone V., Amraoui M., Bouillon C., Coughlan M., Delogu G., Fernandes P., Ferreira C., McCaffrey S., McGee T., Parente J., Paton D., Pereira M., Ribeiro L., Viegas D., Xanthopoulos G., "Defining extreme wildfire events: difficulties, challenges, and impacts Fire" 1 (1) (2018), p. 9
- [6] Gümüşçü A., Tenekeci M. E., "Estimation of active sperm count in spermogram using motion detection methods", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University (2018), <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.460524>
- [7] Karadağ K., Tenekeci M.E., Taşaltın R., Bilgili A., "Detection of pepper fusarium disease using

- machine learning algorithms based on spectral reflectance”, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, (2019), Article in Press.
- [8] Gümüşçü A., Tenekeci M.E., Bilgili A.V. “Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data”, (2019) *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. Article in Press.
- [9] Lejdel B., “Conceptual Framework for Analyzing Knowledge in Social Big Data.”, *Proceeding Big Data and Smart Digital Environment. ICBDSD* (2018). *Studies in Big Data*, vol 53, pp 347-358.
- [10] Chi M., Plaza A., Benediktsson J.A., Sun Z., Shen J., Zhu Y., “Big data for remote sensing: challenges and opportunities”, *Proc. IEEE*, 104 (11) (2016), pp. 2207-2219
- [11] Ramapriyan H., Brennan J., Walter J., Behnke J., “Managing big Data: NASA tackles complex Data challenges”, *Earth Imaging J.* (2013) [Online].
- [12] Padilla M., Vega-García C. (2011) On the comparative importance of fire danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. *International Journal of Wildland Fire* 20, 46-58.
- [13] Cheng T., Wang J., “Integrated spatio-temporal data mining for forest fire prediction”, *Trans. GIS*, 12 (5) (2008), pp. 591-611
- [14] Satir O., Berberoglu S., Donmez C., “Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem Geomatics”, *Natural Hazards and Risk* (2015), pp. 1-14
- [15] Dieu Tien Bui, Quang-Thanh Bui, Quoc-Phi Nguyen, Biswajeet Pradhan, Haleh Nampak, Phan Trong Trinh, "A hybrid artificial intelligence approach using GIS-based neural-fuzzy inference system and particle swarm optimization for forest fire susceptibility modeling at a tropical area", *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 233, (2017), Pages 32-44, ISSN 0168-1923.
- [16] Arpacı A., Malowerschnig B., Sass O., Vacik H., “Using multi variate data mining techniques for estimating fire susceptibility of Tyrolean”, *forests Appl. Geogr.*, 53 (2014), pp. 258-270
- [17] Castelli M., Vanneschi L., Popovic A., “Predicting burned areas of forest fires: an artificial intelligence approach”, *Fire Ecol.*, 11 (2015), pp. 106-118
- [18] Arrue B., Ollero A., Matinez de Dios J., “An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection”, *IEEE Intell. Syst.*, 15 (3) (2000), pp. 64-73
- [19] Cortez P., Morais A., “A data mining approach to predict wildfires using meteorological data”, *Proc. 13th Port. Conf. Artif. Intell* (2007), pp. 512-523
- [20] Sayad, Y. O., Mousannif, H., Moatassime, H. A., “Predictive modeling of wildfires: A new dataset and machine learning approach”, *Fire Safety Journal*, Volume 104, (2019), Pages 130-146
- [21] The Canadian Wildland Fire Information System (CWFIS) <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/>.
- [22] MODIS data products, Courtesy of the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, <https://lpdaac.usgs.gov>.
- [23] Quinlan J.R., “C4.5: Programs for Machine Learning”, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, (1993), 302 s
- [24] Zhang J., Gruenwald L., Gertz M., VDM-RS: A visual data mining system for exploring and classifying remotely sensed images, *Computers & Geosciences*, Volume 35, Issue 9, (2009), Pages 1827-1836, ISSN 0098-3004, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.02.006>.
- [25] Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Arunarwati, B., Stolle, F., & Pittman, K. "Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets." *Environmental Research Letters* 4.3 (2009): 034001.
- [26] Pal M., Mather P.M., “An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification”, *Remote Sensing of Environment*, 86, (2003), 554-565
- [27] Li Z., Dunham M.H., Xiao Y., Zaiane O.R., Simoff S.J., Djeraba C. (Eds.), “STIFF: a forecasting framework for SpatioTemporal data”, *Mining Multimedia and Complex Data. PAKDD 2002. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2797, Springer, Berlin, Heidelberg (2003)
- [28] Cheng T., Wang J., “Integrated spatiotemporal Data Mining for forest fire prediction”, *Trans. GIS*, 12 (5) (2008), pp. 591-611



Endüstri 4.0 Uyumlu DC Wattmetre Tasarımı

Industry 4.0 Compatible DC Wattmeter Design

Ayetül Gelen^{1*}, Selçuk Barış Onur²

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, ayetul.gelen@btu.edu.tr

² Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, selcukbarisonur@gmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 6 Şubat 2020

Düzeltilme: 5 Nisan 2020

Kabul: 11 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Arayüz, endüstri 4.0, prototip, RF haberleşme, uzaktan ölçüm

ÖZET

Endüstri 4.0 ile sanayide; uzaktan yapılacak kontrol ve ölçümlerin önemi daha da anlaşılmıştır. Özellikle insan erişiminin sıkıntılı olduğu yerlerde istenilen elektriksel ölçümlerin alınabilmesi hem operatörün hem de sistemin güvenliği için oldukça önemlidir. Ayrıca saha ölçümleri ile görevli personel sayısının azaltılarak daha etkin alanlara işgücünün kaydırılması da sanayi adına avantaj teşkil edecektir. Bu çalışmada; endüstri 4.0 ışığında uzaktan ölçüm yapabilen ve bir kullanıcı arayüzüne sahip DC wattmetre tasarlanmış ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Ölçülmek istenen akım ve gerilim değerleri uygun sensörler ile mikroişlemciye iletilmektedir. İşlemci ise bu alınan analog bilgileri kullanarak gerilim, akım, güç ve enerji değerlerini LCD üzerinde göstermektedir. Aynı zamanda ölçülen değerler haberleşme modülü ile kablosuz olarak uzaktaki bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayarda ise alınan bu değerler belirlenen algoritma temelinde; C# programı ile sade, anlaşılır ve kullanıcı dostu bir arayüzde gösterilmektedir. Bu arayüzde “Bağlan”, “Bağlantıyı kes”, “Kullanılan port” ve “Ölçülen değerler” gibi bölümler bulunmaktadır. Ayrıca; bu sistemde yük üzerindeki akım ve gerilim değerleri belirlenen değerleri aştığında bir koruma alt sistemi de bulunmaktadır. Elde edilen ürün piyasadaki başka ürünlerle ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre bu ürünün daha fazla özelliklere sahip olduğu ve fiyatının düşük olduğu görülmüştür. Böylece; dördüncü sanayi devrimine uygun ve ekonomik olarak donanım, yazılım ve haberleşme temelli DC wattmetre tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.685760

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 February 2020

Revised: 5 April 2020

Accepted: 11 April 2020

Keywords:

Industry 4.0, interface, prototype, RF communication, remote measurement.

ABSTRACT

With Industry 4.0, the importance of remote control and measurements in the industry has been further understood. It is very important for security of both the operator and the system to be able to take the desired electrical measurements, especially in areas where human access is troubled. Besides, reducing the number of personnel assigned to field measurements and shifting them to more effective areas will be an advantage for the industry. In this study; DC wattmeter capable of remote measurement in the light of industry 4.0 and has a user interface was designed and prototyped. Current and voltage values to be measured are transmitted to a microprocessor by appropriate sensors. The processor displays the voltage, current, power and energy values on the LCD. At the same time, the measured values are transmitted wirelessly via the communication module to the remote computer. On the computer, these values are shown in a simple, understandable and user-friendly interface with the C# program. This interface includes sections such as “connect”, “disconnect”, “port used” and “measured values”. Also; this system has a protection subsystem when the current-voltage values on the load exceed the specified values. The product was compared with other products and it has more features and its price is low. Thus; a DC wattmeter based on hardware-software-communication was designed economically and under the fourth industrial revolution.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Ayetül GELEN

✉ ayetul.gelen@btu.edu.tr

Giriş

Endüstri 4.0 devrimine göre fabrikadaki cihazlar mümkün mertebe birbirleri ile haberleşebilmeli ve bu süreç insanlar tarafından anlaşılabilir olmalıdır. İnsan ve bilgisayar etkileşiminin yollarından birisi de aracı bir kullanıcı arayüzü kullanmaktır. Böylelikle sistemin işlevselliğinin artması hedeflenmektedir [1].

Herhangi bir güç sisteminin güvenilir çalışması için ölçüm önemlidir. Özellikle gerilim ve akım ölçümleri çoğu zaman çeşitli koruma cihazları, tarife amaçları ve denetleyiciler için girdi olarak kullanılmaktadır. Geleneksel gerilim ölçümleri yapılırken ölçüm cihazı doğrudan ölçülen devreye bağlanmaktadır. Bu nedenle, aletlerin devrede normal ve anormal gerilimlere dayanacak şekilde yalıtılması gerekmektedir. Hem pano tipi hem de el ile yapılan ölçümlerde izolasyon oldukça önemlidir. Yapılacak izolasyonun seviyesi arttıkça cihazların büyüklüğü, ağırlığı ve maliyeti de artacaktır. Öyle ki sistem geriliminin artması da bu etkenlere katkı sağlayacaktır [2].

Cataliotti vd. [3] DAQ NI USB 9239 kullanarak PC-tabanlı bir wattmetre tasarlamışlardır. Ancak bu tasarım sadece AC güç ölçümü yapmaktadır ve modüler, monte edilebilir bir cihaz değildir. Jovanoviç [4] ise mikrodenetleyici temelli akım ve gerilim ölçüm sonucunu da gösteren wattmetre tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Ancak bu cihaz kablolu olarak RS232 ile haberleşmekte ve sadece AC büyüklükleri ölçmektedir. DC wattmetre çalışmaları literatürde yeterince mevcut değildir. Dewolf ve Michael [5] özellikle DC motor giriş gücünü ölçebilmek için elektronik wattmetre prototipi geliştirmişlerdir. Bu cihazın akım ve gerilimi sınırlama özellikleri bulunurken haberleşme, kullanıcı arayüzü, modülerlik vb. özellikleri bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın motivasyon kaynaklarından biri; günümüzde büyük önem arz eden endüstri 4.0 başka bir deyişle “dijital dönüşüm” kapsamında, uzaktan erişilebilen ve anlaşılabilir bir kullanıcı arayüzüne sahip olan DC wattmetre tasarlamaktır. İkincil olarak ta bu uzaktan izleme kabiliyeti ile sanayide sıklıkla kullanılan DC elektrik parametrelerinin el ile ölçümlerinin yapılması durumunda kullanıcıyı, cihazı ve sistemi koruma yöntemlerinden biri olan izolasyon konusunda indirgeme yapabilmektir.

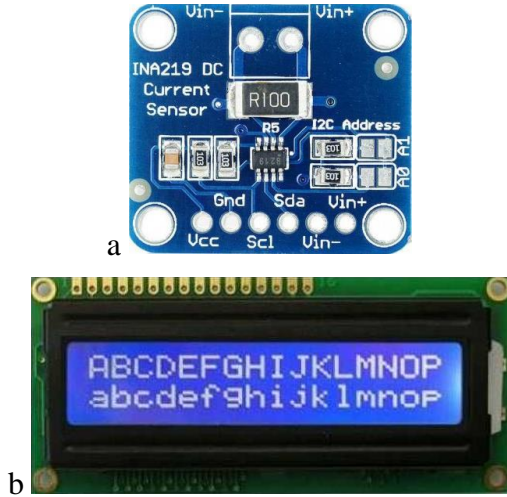
Bu indirgeme ise bu tür cihazların özellikle daha hafif ve ekonomik olmasını da beraberinde getirecektir. En önemlisi de yerli ve dışa bağımlılığı azaltan bir ürün elde edilmiş olacaktır.

Bu çalışmanın yenilik tarafı; mevcutta kullanılan DC wattmetrelerin özelliklerine ek olarak uzaktan, kablosuz bir haberleşme protokolü ile bilgisayardan izlenebilme imkânına sahip, fiyat/performans oranı düşük olan bir cihaz olmasıdır. Böylece minimum insan gücü ile aynı işler yapılabilecektir ki bu da endüstri 4.0'ın doğasına uygun olacaktır. Bu çalışmanın temel tasarım kısımları (detayları olmaksızın) sadece özet metin olarak uluslararası bir konferansta sunulmuştur [6]. Bu makalede ise enerji ölçümü, operatörün akım ve gerilim değerlerine sınır koyabilmesi vb. özellikler eklenerek genişletilmiş ve geliştirilmiş olup prototip üretim aşamaları, devre şemaları, algoritması, uygulama sonuçları ve görselleriyle birlikte açık bir şekilde ortaya konulmuştur.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada cihazın ekranında görülen, ölçülen gerilim, akım, güç ve enerji değerlerini kullanıcının bir arayüz vasıtası ile uzaktan da görerek acil müdahale edilmesi gereken bir durum olduğu zaman gereken işlemlerin hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca kullanılan sigortanın haricinde mikroişlemci temelli koruma da yapılmaktadır. Böylelikle personel ve sistem güvenliğine de katkı sağlanmış olacaktır.

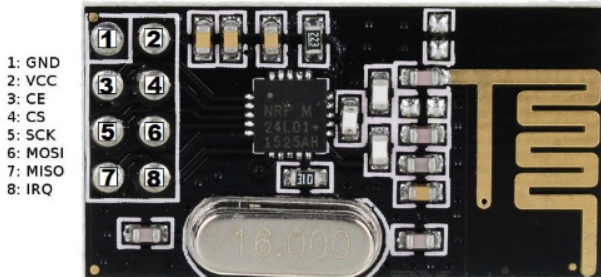
Çalışma kapsamında ölçülmek istenen akım ve gerilim değerlerini değerlendirmek ve arayüze katkı sağlamak için işlemci olarak Arduino kullanılmıştır. Arduino 5 V'luk çalışma gerilimine, toplam 16 adet dijital giriş/çıkış pinine ve 6 adet analog giriş pinine sahip bir işlemcidir [7, 8]. Akım değerleri; ± 3.2 A aralığında akım ölçümü, 26 V'a kadar gerilim ölçümü yapabilen Şekil 1a'da gösterilen INA219 sensörü ile alınmaktadır. INA219 sensörü I2C protokolü ile haberleşebilmektedir [9]. Arduino için yapılan yazılım ile bu alınan ölçüm bilgileri güç ve enerji değerine de dönüştürülerek gerilim, akım, güç ve enerji değerleri Şekil 1b'de görülen 2x16 LCD üzerinde gösterilmektedir. Bu kısım doğrudan cihaz üzerinden okuma yapılan kısımdır.



Şekil 1. a) INA219 b) LCD

Figure 1. a) INA219 b) LCD

Uzaktan haberleşme amacı ile kullanılan nRF24L01 modülünde; Nordic firması tarafından geliştirilen 2.4 GHz frekans bandında hem alıcı hem de verici olarak çalışan dijital, radyo frekans kablosuz haberleşme çipi bulunmaktadır [10]. Bu çipe ait görsel Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. nRF24L01 modülü

Figure 2. nRF24L01 module

Ölçümü yapılan sistemden alınan gerilim, akım, güç ve enerji değerleri radyo dalgaları vasıtası ile alıcı (bilgisayar) tarafında bulunan diğer nRF24L01 modülüne gönderilmektedir. nRF24L01’in bilgi yaprağındaki özelliklere göre açık alanda 1 km mesafeden ölçüm sonuçları alınabilmektedir. Bu modül için haberleşme protokolü olarak SPI kullanılmıştır. Çünkü SPI haberleşmede kullanılan MOSI, MISO, SCK ve SS olmak üzere 4 bağlantı vardır. Bunlardan MOSI ve MISO veri alışverişi, SCK saat sinyali ve SS uydu (slave) cihazı seçmek için kullanılmaktadır. nRF24L01’lerden biri uydu cihaz olarak çalışmaktadır. Uydu cihazı kontrol eden cihaz ise ana (master) cihazdır. Bu

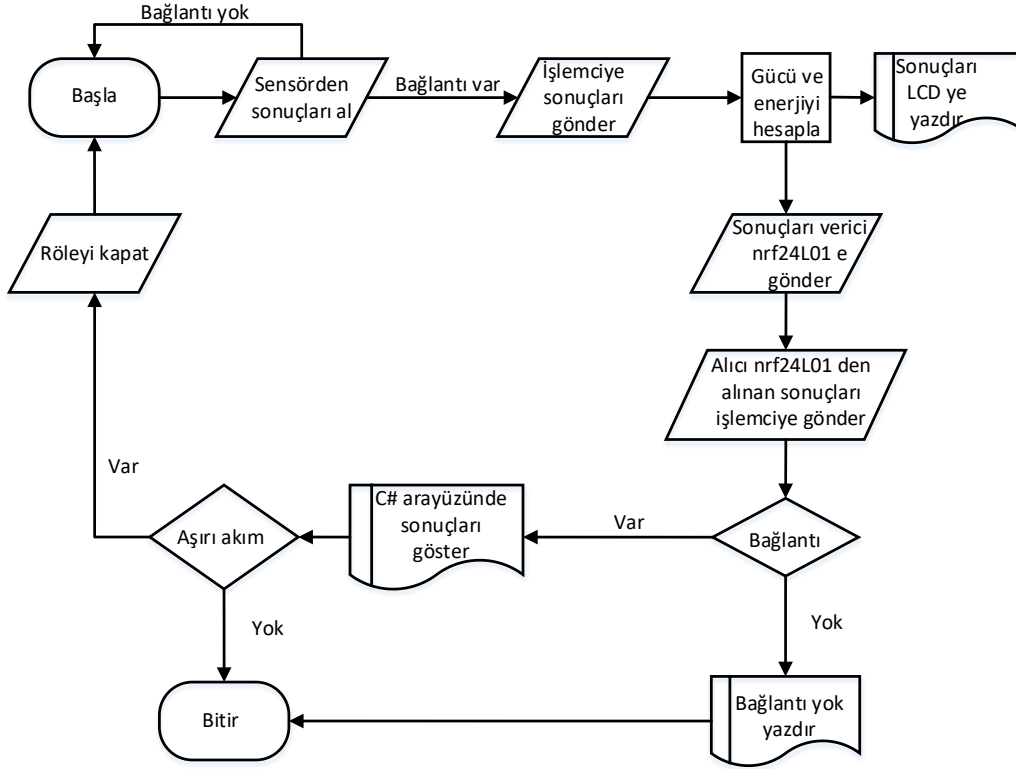
durumda Arduino veya başka bir işlemci ise ana cihaz olmaktadır. Buna göre Arduino'nun başka bir işlemci ile kullanılacağı zaman SPI bacakları ile bağlanması gerekmektedir [7, 8].

Alıcı modül ile alınan değerler, ikinci bir mikroişlemci üzerinden bilgisayara aktarılmaktadır. Alınan bu değerler ise bilgisayar ekranında; belirlenen algoritma doğrultusunda C# programı ile hazırlanan sade ve kullanıcı dostu bir arayüzde gösterilmektedir. Bu programın seçilmesinin nedeni; Net Framework platformu için hazırlanmış tamamen nesne yönelimli bir yazılım dili ve en popüler olmasıdır. Yani nesnelere önceden sınıflar halinde yazılı olup programcıya sadece o nesneyi sürüklemek ve sonrasında nesneyi amaca uygun çalıştıracak kod satırlarını yazmak kalmaktadır [11]. Bu da tasarlanan sistemin istenilen şekilde yapılandırılmasına imkan sağlamaktadır.

Yük olarak hem statik yük tipi olarak potansiyometre hem de dinamik yük tipi olarak DC motorlu fan kullanılmıştır. Ayrıca; bu ölçüm sisteminde, üzerinde ölçüm yapılacak yük üzerindeki akım ve gerilim değerleri kullanıcı tarafından belirlenen sınır değerleri aştığında devreye girecek bir koruma alt sistemi de bulunmaktadır. Bu çalışma yöntemi olarak elektronik donanım tasarımı, arayüz geliştirme, haberleşme ve yazılım olmak üzere birçok konuyu içinde barındırmakta olup aynı zamanda çok disiplinli mühendislik uygulamasıdır.

Bulgular ve Tartışma

Ölçü aletlerinin çalışabilmesi için bir güç kaynağına ihtiyaçları vardır. Bu el tipi wattmetrelerde olduğu gibi bir batarya grubu ile sağlanabilir. Ayrıca, tasarımı yapılan wattmetrenin pano tipi olması ve çevre birimlerde DC enerji ile çalışan başka ölçüm aletleri, analiz cihazları, denetleyiciler, koruma cihazları vb. bulunması sebebiyle aynı DC baradan beslenebilmektedir. Böylelikle prototipi yapılan bu cihaz; sektördeki mevcut ölçüm yerlerine ve gelecekte ihtiyaç olacak yerlere ek bir düzenleme gerektirmeksizin monte edilebilecektir. Çalışma esnasında bu harici güç kaynağı bir adaptör ile sağlanmıştır. Yapılacak tüm aşamaları gösteren algoritma ise Şekil 3’te gösterildiği gibidir. Şekle göre; işlemci başlatıldığında sensörden sonuçları alarak eğer bağlantı yoksa “Başla” komutuna dönecektir. Bağlantı varsa işlemciye sonuçlar iletilecek, güç



Şekil 3. Algoritma

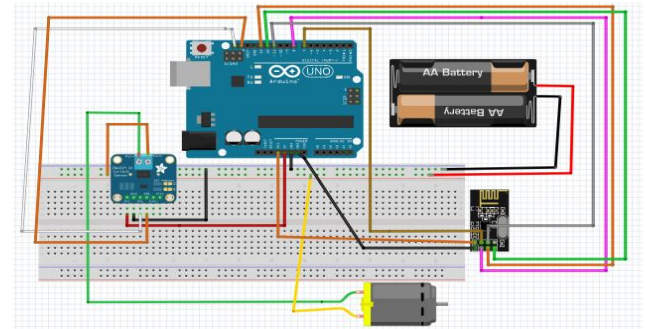
Figure 3. Algorithm

ve enerji hesaplanarak LCD'ye yazdıracaktır. Alınan sonuçlar vericiye iletilecek, alıcı nRF24L01'den alınan sonuçlar ise uydu işlemciye iletilecektir. Bağlantı yoksa "Bağlantı yok" yazdırılacak ve işlem bitirilecektir. Bağlantı varsa, kullanıcı arayüzünde sonuçlar gösterilecek ve işlem bitirilecektir.

Akım ölçümünün seri bağlantı ile gerilim ölçümünün de paralel bağlantı ile yapılması özelliklerini barındıran INA219 sensörü ile gereken ölçümler tek bir sensörle elde edilmiştir. Bu iki ölçüm için ayrı ayrı yapı kurulsaydı daha fazla alana ihtiyaç duyulacaktı. Bu da ergonomi, maliyet vb. etkenlere olumsuz yansıtacaktır. Genel olarak verici kısım olan yük üzerindeki DC parametrelerin ölçüldüğü ve bilgisayara iletmek üzere hazırlandığı kısma ait şema Şekil 4'te gösterilmektedir. Verici kısımdan iletilen değerler; maksimum 1000 metre uzaklıkta bulunabilecek bilgisayar üzerindeki alıcı (uydu) işlemciye gönderilmektedir.

Uzaktaki bilgisayara iletilen değerler Şekil 5'te görüldüğü gibi hem işlemcinin arayüzünde hem de Şekil 6'daki gibi hazırlanan kullanıcı arayüzünde okunmaktadır. Hazırlanan arayüzde

"Bağlan", "Bağlantıyı kes", "Kullanılan port" ve "Ölçülen değerler" gibi bölümler bulunmaktadır. Kullanılan portlar ihtiyaca göre değiştirilebilmektedir. Operatör bu arayüz üzerinden sistemin ihtiyaçlarına göre akım ve gerilim sınır değerlerini uzaktan değiştirebilmektedir. Şekil 6b'de görüldüğü gibi belirlenen sınır değerler aşıldığında arayüzde uyarı görülmekte ve multimetreyi devre dışı bırakan koruma sistemi devreye girmektedir.



Şekil 4. Verici kısım şeması

Figure 4. Transmitter part scheme

Aynı DC barada bağlı farklı akımda çalışan diğer cihazların çalışmasına engel olmamak için

ölçü aleti devre dışı edilmektedir. Ancak aynı akım değerleri altında çalışan cihazlar olması durumunda tasarlanan wattmetre ile ek bir koruma cihazına gerek duyulmadan ana hat açılarak da sistemin korunması yapılabilir. Böylelikle kullanılacağı sisteme göre yapılandırılabilir bir cihaz da elde edilmiştir.

```

COM6 (Arduino/Genuino Uno)
-----
Enerji= 1.36 kWh
-----mesaj gönderildi
Guc= 0.37 W
Gerilim = 4.71 V
Akim= 79.00 mA
Enerji= 1.34 kWh
-----mesaj gönderildi
Guc= 0.71 W
Gerilim = 4.67 V
Akim= 152.10 mA (!!!Asiri Akim!!!)
Enerji= 2.56 kWh
-----mesaj gönderildi
Guc= 0.52 W
Gerilim = 4.68 V
Akim= 110.30 mA
Enerji= 1.86 kWh
-----mesaj gönderildi
Guc= 0.39 W
Gerilim = 4.70 V
Akim= 82.40 mA
Enerji= 1.40 kWh

```

Şekil 5. Arduino arayüzünden alınan sonuçlar

Figure 5. Results from Arduino interface

Prototipi yapılan ürüne ait ayrıntılı görseller Şekil 7a ve 7b’de verilmiştir. Şekil 7a cihazın iç kısmını, Şekil 7b ise bütün donanımların bir araya getirilerek kutulanmış halini ve çalışır halini göstermektedir. Cihaz kutu halinde yapılmış olup pano tipi olarak da modifiye edilebilmektedir. Son olarak bu makale kapsamında tasarımı yapılan ve üretilen prototipin mevcut ticari ürünlerle karşılaştırmalı özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Görüldüğü üzere tasarlanan DC wattmetre hem daha fazla özelliğe sahip hem de daha ekonomiktir. Fiyat konusunda seri üretim yapıldığında fiyatının daha da düşecek olması ürünü daha cazip hale getirecektir.



a



b

Şekil 6. PC kullanıcı arayüzü (a) Normal durum (b) Aşırı akım durumu

Figure 6. PC user interface a) Normal state b) Overcurrent state



a



b

Şekil 7. (a) Cihazın iç kısmı (b) Prototip ürünün son hali ve kullanımı

Figure 7. a) Interior of device b) Final version of prtotype product and its usage

Tablo 1. Karşılaştırmalı ürün analizi

Table 1. Comparative product analyses

Özellikler	Ticari ürün-1 (Peacefoir-PZEM-031)	Ticari ürün-2 (A (200200) 680-Watt Metre)	Tasarlanan cihaz
Gerilim ve akım ölçümü	√	√	√
Güç ölçümü	√	√	√
Enerji ölçümü	√	√	√
Yakın mesafeden ölçüm	√	√	√
Kullanıcı arayüzü	-	-	√
Kablosuz haberleşme ve erişim	-	-	√
Endüstri 4.0 uyumu	-	-	√
Akım ve gerilim sınırlandırılmalı koruma	-	-	√
Fiyat	255 TL	89 TL	68 TL

Sonuçlar

Bu çalışmanın çıktısı olan DC wattmetre ile ölçülen değerler radyo sinyalleri vasıtası ile bilgisayara kablosuz olarak aktarılmakta olup çalışmanın en önemli yenilik unsurunu teşkil etmektedir. Bilgisayar üzerinden kullanıcı; arayüz vasıtası ile cihazın yanına gitmeden ölçüm sonuçlarını gerçek zamanlı olarak görebilmektedir. Ayrıca cihazı ve isterse sistemi arıza vb. istenmeyen durumlarda devre dışı bırakabilmektedir. Bu da ekstra bir koruma sağlamaktadır. Böylelikle 4. sanayi devriminin gerektirdiği gibi uzaktan gözlenebilen, kullanıcı arayüzü olan, minimum insan gücü gerektiren ve sanayide çok kullanılabilir bir ölçüm cihazı tasarımı yapılmıştır. Prototip ürün ticari muadillerine göre daha ekonomiktir. Gelecek çalışma olarak prototipi yapılan cihazın yüksek güçleri ölçebilecek hale getirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] D. Gorecky, M. Schmitt, M. Loskyll and D. Zühlke, "Human-machine-interaction in the Industry 4.0 Era", 12. IEEE International Conference on Industrial Informatics, Porto alegre, Brasil, 89–294, (2014).
- [2] G. Wijeweera, C. Shafai and A. Rajapakse, "Measuring Power system Voltage Remotely using Micromachined Electric Field Sensor", 1. IEEE Microsystems and Nanoelectronics Research Conference, Canada, 209-212, (2008).
- [3] A. Cataliotti, V. Cosentino, D. Di Cara, A. Lipari, S. Nuccio and C. Spataro, "A PC-Based wattmeter for accurate measurements in sinusoidal and distorted conditions: Setup and experimental characterization", IEEE T. Instrum. Meas., vol. 61, no 5, pp. 1426-1434, May 2012.
- [4] L. D. Jovanović, "A novel TDM-based high-precision wattmeter", IEEE T. Instrum. Meas., vol. 66, no 6, pp. 1083-1088, June 2017.
- [5] F. DeWolf and R. N. Michael, "Measurement of input power of DC motors operated using rectifier power supplies and choppers", IEEE T. Ind. Appl., vol. IA-16, no 3, pp. 372-378, May/June 1980.
- [6] S. B. Onur and A. Gelen, "Elektronik Sistemlerdeki DC Parametrelerin RF ile İzlenmesi", 2. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, ÖZET, 96, Zonguldak, Türkiye, (2018).
- [7] Ç. Taşdemir, Arduino (10. bs.), İstanbul: Dikeyksen Yayınevi, 2016.
- [8] S. D. Saygılı, Projelerle Arduino (6. bs.), İstanbul: Abaküs Yayınevi, 2015.
- [9] Anonim, (10 Nisan 2018). [Online]. Erişim adresi: <https://www.adafruit.com/product/904>.
- [10] Nordic Semiconductor, nRF24L01 datasheet, URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf (Erişim zamanı: Nisan, 10, 2018)
- [11] S. Algan, Her Yönüyle C# (22. bs.). İstanbul: Pusula Yayıncılık, 2003.

Mobile diagnosis of thyroid based on ensemble classifier

Ramazan SOLMAZ^{1,*}, Ahmet ALKAN¹, Mücahid GUNAY²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Computer Engineering Kahramanmaraş, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-8933-2922>, ¹<https://orcid.org/0000-0003-0857-0764>, ²<https://orcid.org/0000-0003-1190-4016>
rsolmaz23@gmail.com.tr; aalkan05@gmail.com.tr, gunay@ksu.edu.tr

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 February 2020

Received in revised form: 27

February 2020

Accepted: 3 March 2020

Available online 30 September 2020

Keywords:

Thyroid, Mobile Diagnosis,
Ensemble Classifier, SQL Server,
MATLAB.

ABSTRACT

The thyroid gland plays a major role in many metabolic activities of the human body. Thyroid disease, which is quite common in humans, affects people's quality of life significantly. Early diagnosis is very important for taking precautions. The mobile diagnostic system can be the solution for early diagnosis especially in rural areas or without going to health institution. This study has been proposed to enable people with mobile devices to obtain quick information about the disease or to seek medical assistance in any matter without going to the hospital. Functional thyroid diagnosis system is designed using mobile device, Android based software application, Database (SQL) and Server (MATLAB based decision algorithms). With the system, functional thyroid disease can be diagnosed using an android based mobile device. Different classification algorithms were searched for the most accurate diagnosis and Ensemble method which has a high success rate for thyroid disease was used in the system. Ensemble classification technique reached a success rate of 99.06% and 99.08% for the first and second data group, respectively. These success rates were calculated by using gold standard test and results were compared with the literature. Obtained test results showed that, the proposed mobile diagnosis system could be used for the diagnosis of the functional thyroid. At the same time, this system can be developed for different diseases.

Doi: 10.24012/dumf.687898

Introduction

Mobile devices enable people to benefit from the advantages of current technology independently of places. Cell phones in the field of communication, table computers in the field of education, hand terminals that collects orders in the commercial field, indexers used for electricity, water and gas billing are just a few examples. Mobil devices have also become popular in the field of health recently. Mobil health services are generally designed for two purposes. The first one is for the diagnosis, treatment or monitoring of the disease status of the sick people. The other produces solutions for the health system. For example, health expert support, patient data sharing, etc [1-5].

Some of the prefixes to new developments in mobile technology are as follows. Mobile applications such as devices and sensors that operate based on cloud systems and facilitate communication between health specialists in case of emergency were developed. Among these are devices which psychologically satisfy smoking addiction, inform family members and medical teams about the elderly living on their own in case of emergency, collect information about calorie burnt, blood oxygen amount and cardiac rhythm during exercises and monitor numerous vital activities in daily life. Many different software's are developed for mobile devices or hybrid systems. Sometimes systems (mobile and other systems) are designed to work together. Our study is an example of this.

* Corresponding author
Ramazan SOLMAZ
✉ rsolmaz23@gmail.com

In this study, an accessible decision support system for functional thyroid diagnosis was developed. The Android application to be written in Android operating system was installed on a mobile device. The individual blood values (medical information) are entered on the designed system via a mobile device and sent to the database. The listener on MATLAB operating on the side of the server controls the database on regular intervals and receives the data to evaluate them via the algorithm based on the decision system. Following the evaluation, it sends these data from the database to the client device. Thus, the individual can reach preliminary information about whether s/he suffers from thyroid or not.

Various data classifications techniques are used in order to evaluate data on thyroid in the algorithm of mobile diagnosis system. This study uses ensemble classification technique which yields better accuracy rates. Ensemble method is based on the idea that the decisions made by multiple people (such as a society or council) instead of a single person will be more accurate [6].

Fulfilling a vital function in the human body, thyroid is a 25-gram endocrine gland located in the lower neck and anterior trachea in a healthy adult body. The thyroid gland regulating all organs in human body through its hormones, it is considered as the main regulator of the body's metabolism. Thyroid diseases are widespread around the world and poses an important problem for humanity. Medical screenings carried out demonstrate that thyroid diseases affect life quality. Similar to other endocrine diseases, females suffer more from thyroid diseases compared to males. In addition, thyroid diseases are directly proportional to aging [7, 8]. The diagnosis is usually made by medical specialists as normal, hypo or hyperthyroid, based on blood values. In this study, a decision support system has been proposed with the ensemble classifiers considering the decisions of the experts from the blood values. They will be able to see the results by entering their blood values on the web to the mobile decision support system which has been made ready for use.

Materials and Methods

Materials

The data belonging to thyroid disease used in this study were obtained from machine learning

database of University of California (<ftp://ftp.ics.uci.edu/pub/machine-learning-databases/thyroid-disease/>). The thyroid datasets are divided into two groups as follows:

a) First Group Data: This group contains blood values obtained from 215 individuals. Five characteristics related to the thyroid disease exist in each sample. The data set is divided into three classes as Normal (euthyroid), Hyperthyroid, and Hypothyroid. As shown in Table 4, there are numerous studies on this data set in the literature.

First group data set consists of 150 normal (class 1), 35 hyper (class 2) and 30 hypo (class 3) data and each sample contains five feature consisting of blood values as follows.

Feature 1: Level of unsaturated thyroxine binding globulin in serum thyroxine level.

Feature 2: Total serum thyroxine level measured via isotopic displacement method.

Feature 3: Total serum triiodothyronine level measured via radioimmunoassay method.

Feature 4: Basal thyroid stimulating hormone measured via radioimmunoassay method.

Feature 5: The highest absolute difference between TSH and basal levels following a thyrotropic hormone (TSH) injection of 200 mg.

b) Second Group Data: This data set consists of 7200 samples/data belonging to three classes. There are seldom studies on this data set in the literature.

This data set consists of 166 normal (class 1), 368 hyper (class 2) and 6666 hypo (class 3) data.

Each sample contains 21 features. 1st feature contains individual's age (between 0 and 1) from whom sample is obtained, and 2nd to 16th features (15 features) consist of 0 or 1 coded via binary number system. These features consist of responses regarding the individual's medical conditions such as gender, thyroxine, anti-thyroid drugs, thyroid, hypothyroid, hyperthyroid, pregnancy, diseases, tumor, lithium and goiter. 5 features between 17 and 21 have a value between 0 and 1. These features were obtained via blood test measurements during thyroid diagnosis. These tests consist of values obtained from blood tests such as TSH, T3, TT4, T4U, FTI and TBG.

Methods

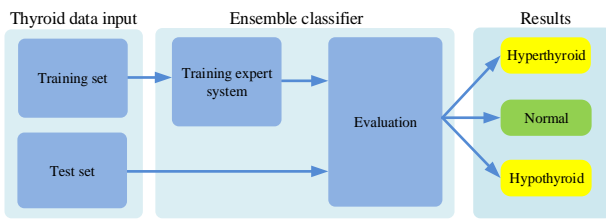


Figure 1. The flow diagram of the system operating on MATLAB in the host computer

Ensemble Classification

Ensemble technique is based on the idea that the decisions made by multiple people (such as a community or council) instead of a single person will be more accurate. Ensemble method can be also defined as a combination of models or mean of several different models. The mean of different models was developed with neural networks in early 1990s. The idea was put forward by Krogh, it was stated that generalization error of ensemble is lower than mean generalization error of single ensemble members. The ensemble technique forms a group of learners with a classification method and these learners are trained with 'x' training data. The decision of each trained learner on the 'x' test data is evaluated and the joint decision of the learners constitutes the final decision of the method [9-12].

The mathematical expression of the ensemble method for the test sample 'x' can be written as follows;

$$\text{class}(x) = \text{mode}\{L_1(x), L_2(x), L_3(x) \dots L_n(x)\} \quad (1)$$

where n is the number of learners in the ensemble. $L_n(x)$ is the final decision of the n-th learners in the ensemble [11].

Decision Trees (DT) method

Decision tree (DT) is a commonly used classification and pattern identification algorithm in the literature. This approach is very similar to human reasoning and is easy to understand. The decision trees method has ease of use, fast and high accuracy rate in data classification [13-16]. Due to the successful features of the decision tree method, it has been chosen as an individual decision-making algorithm for the diagnostic support system.

Application and Experimental Results

The data to be analyzed are entered by the user in Android based mobile device called client, and are stored in MSSQL database. The general structure of mobile decision-making system is described as shown in Figure 2. The listener on MATLAB operating on the side of the server controls the database on regular intervals. If there are new data in the database, the parameters sent by the user through the mobile client are used to operate algorithm. MATLAB sends the results (decisions) obtained from the algorithm to the database. Interacting with the database, the android application displays the decision and evaluates thyroid data via mobile diagnosis system.



Figure 2. The general structure of mobile diagnosis system

Numbers 1, 2, 3 and 4 shown in Fig. 2 show the sequence and steps of the mobile diagnostic system. These; 1: The information entered by the user to the mobile device is sent to the Database (SQL). 2: Information received from the database is sent to the MATLAB for processing. 3: The decision resulting from the information processed on the MATLAB is sent to the Database. 4: The decision from the MATLAB is sent to the relevant mobile device. Thus, the user will be informed about his or her illness by looking at the decision of the trained algorithm received on the mobile device.

First stage

An Expert system designed in MATLAB medium that interprets incoming thyroid data and produces results. Ensemble classification method is the basis of the expert system. AdaBoostM2 was used as multiple classifier method and Decision trees were used as learner. Information on ensemble classification is readily available in the literature. It is therefore summarized here. Highest accuracy rate of Ensemble classification

was obtained with 257 training cycles in the application with thyroid data (the first group data: 215 samples, the second group data: 7200 samples). Thyroid data was classified with optimized Ensemble classification. Table 1 shows the distribution of the first group of data and Table 2 shows the distribution of the second group of data. Table 3 shows the accuracy of Ensemble classification results according to the Gold Standard test system. In Table 4, the results of the model are compared with the literature.

Table 1. Application results for the first group data

215 samples	Normal	Hyper	Hypo	Total
150 Normal	148	2	0	150
35 Hyper	0	35	0	35
30 Hypo	0	0	30	30
Total				215
Error (%)				0.94
Accuracy (%)				99.06
The number of inaccurate diagnosis				2
The number of accurate diagnosis				213

As shown in Table 1, the accuracy rate of the first group data reached 99.06%. Here, the classifier diagnosed 2 out of 150 normal samples as Hyperthyroid. 35 Hyperthyroid and 30 Hypothyroid samples were diagnosed accurately. Only 2 out of 215 samples were inaccurately diagnosed.

7200 samples were used for the second group data. The classifier diagnosed 166 normal samples accurately. All of 368 hyperthyroid samples were diagnosed as hyperthyroid. Out of 6600 hypothyroid samples, 6600 samples were diagnosed accurately while 50 samples were diagnosed as hyperthyroid and 16 samples were diagnosed as the normal. The accuracy rate of the classifier was 99.08% for this dataset.

Table 2. Application results for the second group data

7200 samples	Normal	Hyper	Hypo	Total
166 Normal	166	0	0	166
368 Hyper	0	368	0	368
6666 Hypo	16	50	6600	6666
Total				7200
Error (%)				0.92
Accuracy (%)				99.08
The number of inaccurate diagnosis				66
The number of accurate diagnosis				7134

It is underlined in the medical literature that the function of thyroid gland can be best explored by the blood TSH level and that TSH upper limit is 4 *mIU/L* in the healthy youth population [17]. The present study yielded consistent results with this figure. The decision tree classifier used in this study determined the first branching criterion based on TSH attribute and measured its level as 3.7 *mIU/L*.

In this study, real diagnosis results were compared to get "gold standard test" [18] results in order to test the reliability of diagnosis performed pre-existing dataset.

Table 3. Gold standard test results of ensemble classification method for 1st and 2nd group data sets.

	1 st Group dataset	2 nd Group dataset
Sensitivity	1	0.9906
Specificity	0.9866	1
False positive rate	0.0133	0
False negative rate	0	0.0093
Positive predictive value	0.9701	1
Negative predictive	1	0.7155
Accuracy	0.9906	0.9908

When Table 1, 2 and 3 are analyzed, it can be noted that ensemble classification technique can yield quite accurate results for functional thyroid diagnosis. There are numerous studies on these data set in the literature, and the comparison results of the present study and recent studies are summarized in Table 4.

Table 4. The comparison of the present study and other studies in the literature carried out via 1st group data set

Author(s)	Method	Accuracy (%)
Serpen et al. [19]	MLP	36.74 (test data)
	LVQ	81.86 (test data)
	RBF	72.09 (test data)
	PPFNN	78.14 (test data)
	MLP with back-propagation	86.33 (mean-3-fold-CV)
Özyılmaz and Yıldırım [20]	MLP with fast back-propagation	89.80 (mean-3-fold-CV)
	RBF	
	CSFNN	79.08
Pasi [21]		91.14
	LDA	81.34 (test data)
	C4.5-1	93.26 (test data)
	C4.5-2	92.81 (test data)
	C4.5-3	92.94 (test data)
	MLP	96.24 (test data)
Polat et al. [22]	DIMLP	94.86 (test data)
	AIRS	81.00 (mean-10-fold-CV)
	AIRS with Fuzzy weighted pre-processing	8500 (mean-3-fold-CV)
Keleş and Keleş [23]	ESTDD	95.33 (10- fold -CV)
Kukkurainen and Luukka [24]	Level set classifier	96.44
	MLNN with LM	92.96 (3-fold-CV)
	PNN	94.43 (3-fold-CV)
	LVQ	89.79 (3-fold-CV)
Temurtaş [25]	MLNN with LM	93.19 (10-fold-CV)
	PNN	94.81 (10-fold-CV)
	LVQ	90.05 (10-fold-CV)
Kodaz et al. [26]	AIRS	94.82 (10-FCV)
	IG-AIRS	95.90 (10-FCV)
Doğantekin et al. [27]	ADSTG	93.77 (10-FCV)
Doğantekin et al. [28]	GDA-WSVM	91.86 (test data)
Chen et al. [29]	FS-PSO-SVM	97.40 (mean-10-fold-CV)
Liu et al. [30]	FKNN	98.82 (10-FCV)
		97.73 (mean-10-fold-CV)
Li et al. [31]	PCA-ELM	98.10 (10-fold-CV)
Dina et al. [32]	CBR	99.53
Kaya [33]	ELM (70-30% training-test)	96.79
The present study	ENSEMBLE Classification	99.06 (215 data set)
		99.08 (7200 data set)

After it was understood that the proposed system for thyroid diagnosis could be used in mobile applications, the next step was taken. The successful methodology was in the server in a trained state in order to classify new data to be evaluated. Users can send their blood values to

the online database for diagnosis thanks to the Android application in their mobile devices. MATLAB in the host computer receives new data sent by the user via mobile devices and sends them back to the mobile media following the processing.

Second stage

At this stage, the system was operated thanks to the interaction between mobile devices, MATLAB and database.

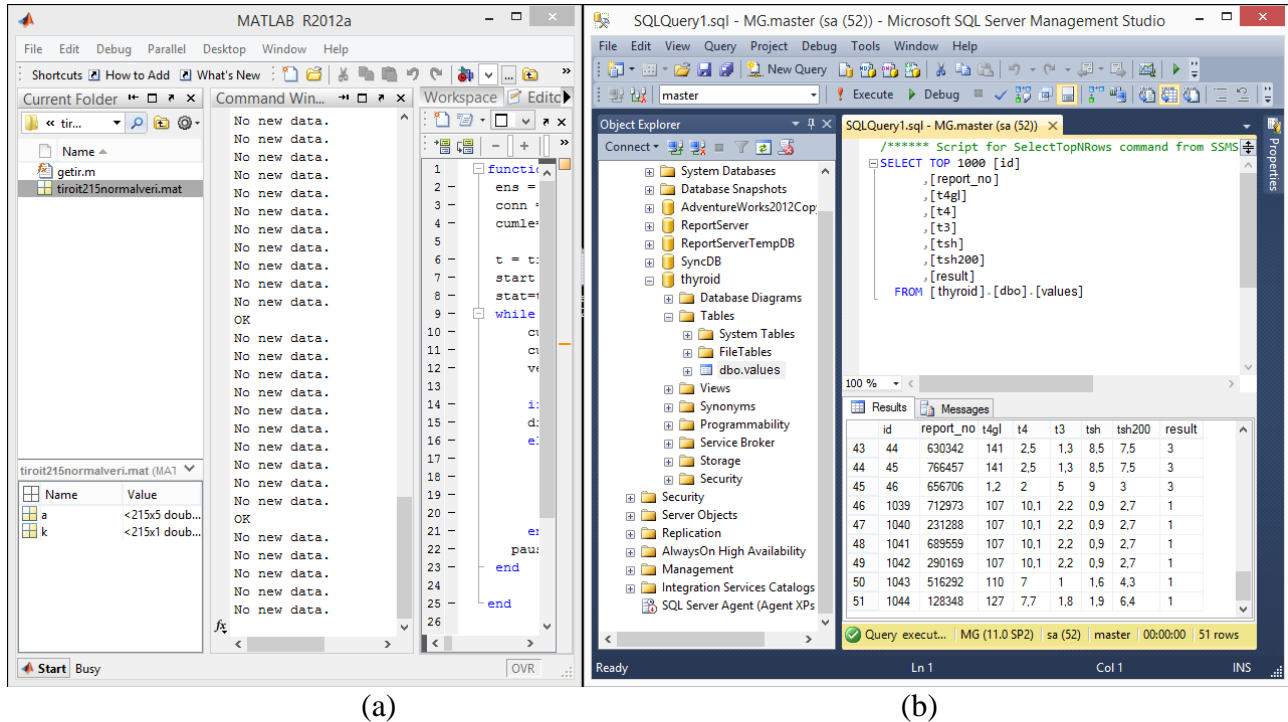


Figure 3. Application for mobile system; a) Matlab program in the server, b) Information from the database.

Images taken from Matlab and database while mobile system is running were given in Figure 3 (a) and (b). Program codes prepared in Matlab environment, intervals and its control on the database are shown in Figure 3 (a). Figure 3 (b) shows the database where the evaluation results of the data entered via mobile devices are stored. The application system running on mobile device is developed with Linux based open source

Android operating system. Database code is written in C language.

Third stage

The android based mobile software to be operated in the mobile device was written in the third stage. This application to be installed in the mobile device enables the user to enter data regarding the disease in the mobile device which will be evaluated by the system.



Figure 4. Mobile device applications: a) Image of the mobile application logo on mobile device screen, b) Screen interface where the user enters data in the mobile application, c) Evaluation process of the system, d) Results displayed on the mobile device screen following the data evaluation.

Images of the mobile diagnosis system logo and interface are shown in Figure 4 (a), (b), (c) and (d). Thyroid data of each patient based on their blood values are entered in the related section of this application. When the user touches the “evaluate” button, the system sends the user’s data to the database. MATLAB operating in the server controls the database on regular intervals, applies the decision making algorithm to the new data and sends the results to the database. The application operating on the client mobile device displays the related result sent by the database. Thus, the user’s client mobile device can evaluate data regarding functional thyroid disease thanks to the mobile diagnosis system. The data on the application screen belong to the important blood values for the thyroid diagnosis.

Thanks to the methodology proposed in this study, a successful (nearly 99%) mobile decision support system for thyroid diagnosis was created using the thyroid data obtained from UCI database. The feasibility of the system was tested and the results indicated that it can be used in practical applications.

Discussion

Studies aimed at increasing the quality of life lead to the development of artificial intelligence and take more place in human life. This implies that in the near future biological data (informations on

disease symptoms, pictures, sounds etc.) will be interpreted by artificial intelligence-based intelligent devices. In our work, it is aimed to evaluate live data by experts or specialized intelligent machines. For this purpose, the blood data about the thyroid disease were evaluated with the mobile device and accurate results were obtained.

With our application, the diagnosis of thyroid disease was successfully performed using a mobile device. It should be noted here that disease data is standard. Many studies have been done to show which algorithms used as decision mechanisms will be more successful in which disease. In this study, data set of thyroid functioning disease was evaluated online via mobile device. Our work has been done for multiple purposes. First, the most successful expert system for functional thyroid disease has been identified. Then a mobile application was written and a diagnostic system was created. This system allows the evaluation of disease data at another center in rural or undeveloped areas where no facilities are available. At the same time, the developed mobile diagnostic support system can be used for different diseases. The central labs integrated with the system can evaluate disease data with mobile devices. People can download the designed android application to

their mobile device and use the system. In particular, doctors working in rural areas will be able to use this practice as a decision support system to assist physicians in evaluating disease data. With this system, any person can be informed about the disease through the mobile device if they have their blood data about thyroid disease. Our work will also provide additional information to the physicians who will evaluate the data obtained from the samples when they are installed on blood analyzers. So in fatigue, intensity or emergency situations, it may also reduce the possibility of making false interpretations of humans. Our work has the infrastructure to solve all the processes on the mobile device. However, current work requires internet access. Data standards are needed to evaluate disease data and it needs to be constantly updated to prevent over-learning of the algorithm.

Conclusion

In this study, mobile diagnostic system was created by using mobile devices, database and a server. With the designed mobile diagnostic system, functional thyroid disease data were evaluated and accurate diagnoses were made. The proposed system was developed via Linux based open source Android operating system. This application accurately evaluates the data entered via mobile devices and displays the evaluation results on the mobile device screen.

The classification accuracy of first and second data group for functional thyroid disease via ensemble classification technique are 99.06% and 99.08%, respectively. Highest accuracy rate of ensemble classification was obtained with 257 training cycles in the application for thyroid data. Ensemble classification system detected 2 of 215 samples incorrectly in the first data group. In the second data group, 66 of 7200 samples were detected incorrectly. The performance results of the proposed the functional thyroid diagnosis system is superior than the previous studies given in Table 4 [34-36].

This system can be used as a mobile health application and mobile support system for functional thyroid diagnosis or other diseases. Mobile diagnostic system can be developed and used for different diseases. When the mobile diagnostic system is operated in parallel with the blood analyzer, human-induced errors can be

minimized by informing doctors of all possible diseases.

Table 5. Directory of abbreviations

SQL	: Structured Query Language
MSSQL	: Microsoft SQL Server
UCI or UC Irvine	: The University of California, Irvine
DT	: Decision Tree
MATLAB	: Matrix Laboratory
X-ray	: X-radiation, a form of high-energy electromagnetic radiation
MRI	: Magnetic Resonance Imaging
TSH	: Thyroid Stimulating Hormone
T3	: Triiodothyronine
T4	: Thyroxine
TBG	: Thyroid Binding Globulin
FTI	: Free Thyroxine Index
TT4	: Total Thyroxine
T4U	: Thyroxine Uptake

Acknowledgement

This study was supported by the individual research project entitled “Android İşletim Sistemi Tabanlı Mobil Cihazlarda Uzman Sistemlerin Tiroit Teşhisinde Kullanılması”, BAP project (2013/4-30M) of Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Compliance with ethical standards

Conflict of interest

All authors read and approved the final manuscript. None of the authors had a conflict of interest.

Ethical approval

Ethics approval for the study protocol was obtained from the local area health ethics committee.

Informed consent

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. In this study, real diagnosis results were compared to get “gold standard test” [18] results in order to test the reliability of diagnosis performed pre-existing dataset.

References

1. Electronic Mobile Health https://www.healthparliament.eu/wpcontent/uploads/2017/09/Electronic_mobile-health.pdf/19.09.2019
2. J. John, & C. Raju, (2018), "Design and Comparative Analysis of Mobile Computing Software Framework," *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*. doi:10.1109/icicct.2018.8473350. 978-1-5386-1974-2/18/\$31.00 ©2018 IEEE.
3. A. Uçar, & R. Özalp, (2017), "Efficient android electronic nose design for recognition and perception of fruit odors using Kernel Extreme Learning Machines," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 166, pp 69–80. doi:10.1016/j.chemolab.2017.05.013.
4. S. A. Tuncer and A. Alkan, "Segmentation of thyroid nodules with K-means algorithm on mobile devices," *2015 16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, Budapest, 2015, pp. 345-348.
5. S. A. Tuncer and A. Alkan, "Abdominal image segmentation on Android based mobile devices," *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, 2014, pp. 806-809.
6. M. F. Amasyali, (2013), "A semi-random subspace method for classification ensembles," *21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. doi:10.1109/siu.2013.6531301. 978-1-4673-5563-6/13/\$31.00 ©2013 IEEE.
7. A. Maniakas, L. Davies, & M. E. Zafereo, (2018), "Thyroid Disease Around the World," *Otolaryngologic Clinics of North America*, vol 51(3), pp 631–642. doi:10.1016/j.otc.2018.01.014.
8. J. Longbottom & R. Macnab, (2014), "Thyroid disease and thyroid surgery," *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, vol. 15(10), pp 458–464. doi:10.1016/j.mpaic.2014.07.006
9. H. Kaneko, (2018), "Automatic outlier sample detection based on regression analysis and repeated ensemble learning," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 177, pp 74–82.
10. M. Hosni, I. Abnane, A. Idri, J. M. C. de Gea, & J. L. F. Alemán, (2019), "Reviewing Ensemble Classification Methods in Breast Cancer", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. doi:10.1016/j.cmpb.2019.05.019.
11. U. Agrawal, D. Soria, C. Wagner, J. Garibaldi, I. O. Ellis, J. M. S. Bartlett, A. R. Green, (2019), "Combining Clustering and Classification Ensembles: A Novel Pipeline to Identify Breast Cancer Profiles." *Artificial Intelligence in Medicine*. doi:10.1016/j.artmed.2019.05.002.
12. Y. He, D. Chen, W. Zhao, (2006), "Ensemble classifier system based on ant colony algorithm and its application in chemical pattern classification," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 80, pp. 39 – 49.
13. M. Czajkowski & M. Kretowski, (2019), "Decision Tree Underfitting in Mining of Gene Expression Data An Evolutionary Multi-Test Tree Approach," *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2019.07.019.
14. H. Sun, & X. Hu, (2017), "Attribute selection for decision tree learning with class constraint," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 163, 16–23. doi:10.1016/j.chemolab.2017.02.004
15. N. Cerpa, M. Bardeen, C. A. Astudillo & J. Verner, (2016), "Evaluating different families of prediction methods for estimating software project outcomes," *Journal of Systems and Software*, 112, 48–64. doi:10.1016/j.jss.2015.10.011.
16. H. Sun & X. Hu (2017), "Attribute selection for decision tree learning with class constraint." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 163, 16–23. doi:10.1016/j.chemolab.2017.02.004.
17. Thyroid diseases diagnosis, treatment and follow-up guide, Turkey Endocrinology and Metabolism Society, ISBN No: ISBN: 978-605-4011-37-7, 2019.
18. <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/gold-standard-test/> Accessed 20/09/2019.
19. G. Serpen, H. Jiang, L. Allred, (1997), "Performance analysis of probabilistic potential function neural network classifier," *In Proceedings of artificial neural networks in engineering conference*, St. Louis, MO, 7, pp. 471–476.
20. L. Ozyilmaz, T. Yildirim, (2002), "Diagnosis of thyroid disease using artificial neural network methods," *In Proceedings of ICONIP'02 ninth international conference on neural information processing*, Orchid Country Club, Singapore, pp. 2033–2036.
21. L. Pasi, (2004), "Similarity classifier applied to medical data sets," *International conference on soft computing*, Helsinki, Finland & Gulf of Finland & Tallinn, Estonia.
22. K. Polat, S. Sahan, S. Gunes, (2007), "A novel hybrid method based on artificial immune recognition system (AIRS) with fuzzy weighted pre-processing for thyroid disease diagnosis," *Expert Systems with Applications*, 32(4), pp. 1141–1147.
23. A. Keles, A. Keles, (2008), "ESTDD: expert system for thyroid diseases diagnosis," *Expert Systems with Applications*, 34(1), pp. 242–246.

24. P. Kukkurainen, P. Luukka, (2008), "Classification method using fuzzy level set subgrouping," *Expert Systems with Applications*, 34, pp. 859–865.
25. F. Temurtas, (2009), "A comparative study on thyroid disease diagnosis using neural networks," *Expert Systems with Applications*, 36(1) pp. 944–949.
26. H. Kodaz, S. Ozsen, A. Arslan, S. Gunes, (2009), "Medical application of information gain based artificial immune recognition system (AIRS): diagnosis of thyroid disease," *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 3086–3092.
27. E. Dogantekin, A. Dogantekin, D. Avci, (2010), "An automatic diagnosis system based on thyroid gland: ADSTG," *Expert Systems with Applications*, 37, pp. 6368–6372.
28. E. Dogantekin, A. Dogantekin, D. Avci, (2011), "An expert system based on generalized discriminant analysis and wavelet support vector machine for diagnosis of thyroid diseases," *Expert Systems with Applications*, 38(1), pp. 146–150.
29. H. L. Chen, B. Yang, G. Wang, J. Liu, Y. D. Chen, D. Y. Liu, (2011), "A three-stage expert system based on support vector machines for thyroid disease diagnosis," *J. Med. Syst.*, <http://dx.doi.org/10.1007/s10916-011-9655-8>.
30. D. Y. Liu, H. L. Chen, B. Yang, X. En Lv, L. N. Li (2011), "Design of an enhanced fuzzy k-nearest neighbor classifier based computer aided diagnostic system for thyroid disease," *Journal of Medical Systems*, <http://dx.doi.org/10.1007/s10916-011-9815-x>.
31. L. N. Li, J. H. Ouyang, H. L. Chen, D. Y. Liu, (2012), "A computer aided diagnosis system for thyroid disease using extreme learning machine," *J. Med. Syst.*, 36, pp. 3327–3337, DOI 10.1007/s10916-012-9825-3.
32. A. Dina, Sharaf-El-Deen, İ. F. Moawad, M. E. Khalifa, (2014), "A new hybrid case-based reasoning approach for medical diagnosis systems," *J. Med. Syst.* 38(9), Doi 10.1007/s10916-014-0009-1.
33. Y. Kaya, (2014) "A Fast-Intelligent Diagnosis System for "Thyroid Diseases Based on Extreme Learning Machine," *Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 15(1), pp. 41-49. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/35611>.
34. R. Solmaz, M. Günay, A. Alkan, (2013), "Uzman Sistemlerin Tiroit Teşhisinde Kullanılması," *Akademik Bilisim 2013 – XV. Akademik Bilisim Konferansı Bildirileri 23-25 Ocak 2013 – Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye*, pp. 864-867, 2013. <https://ab.org.tr/ab13/bildiri/268.pdf>.
35. R. Solmaz, A. Alkan, (2013), "Kan Testi Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Tiroit Tanısında Kullanılması," *6. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu 25-26 Nisan 2013 I Çankaya Üniversitesi, Ankara, Türkiye*, pp. 269-272. ISBN: 978-975-6734-155, <https://zgrw.org/files/MTS6.pdf>
36. R. Solmaz, M. Günay, A. Alkan, (2014), "Fonksiyonel Tiroit Hastalığı Tanısında Naive Bayes Sınıflandırıcının Kullanılması," *Akademik Bilişim'14 - XVI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 5 - 7 Şubat 2014 Mersin Üniversitesi, Türkiye*, pp. 891-897, 2014. https://ab.org.tr/ab14/kitap/solmaz_gunay_ab14.pdf.

RSSI Sinyalleri Kullanarak İç Ortamda Parmak İzi Tabanlı YSA ile Konum Tespitinin Gerçekleştirilmesi

Implementation of Location Determination with Fingerprint Based ANN in Indoor Environment Using RSSI Signals

Ayşe TEKBAŞ¹, Taner TUNCER^{2,*}, Ebubekir ERDEM³

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, Elazığ, Türkiye.

¹<https://orcid.org/0000-0002-8337-6059>, ²<https://orcid.org/0000-0003-0526-4526>, ³<https://orcid.org/0000-0001-7093-7016>

ayseyesari@gmail.com.tr; ttuncer@firat.edu.tr; aberdem@firat.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 21 Şubat 2020

Düzeltilme: 3 Nisan 2020

Kabul: 4 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

RSSI, Konum Tespiti, Parmak İzi Algoritması, Sensör Dügüm

ÖZET

Açık alanlarda konum tespiti doğru bir şekilde GPS(Global Positioning System) sistemleri vasıtasıyla elde edilebilmektedir. Ancak GPS sistemleri kapalı ortamlarda konum bilgisini hassas bir şekilde ölçememektedir. İç ortamlarda konum tespiti için özel ağ sistemleri tasarlanmaktadır. Bu makalede, kapalı bir ortamda konumlandırılmış sensörler yardımıyla ortamın parmak izi RSSI sinyalleri yardımıyla çıkartılmış ve sensör düğüm konumları YSA kullanılarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamada 2 senaryo kullanılmıştır. İlk senaryo boş bir ofis ortamında, ikinci senaryo ise insanların ve çeşitli nesnelerin olduğu bir ofis ortamında gerçekleştirilmiştir. Sensör düğümlerin gerçek ve tahmini konumları ölçüldüğünde hesaplanan hatanın literatüre göre kabul edilebilir olduğu görülmüştür. İlk senaryo için konum tespiti ortalama 18,2 cm hata ile ikinci senaryoda ortalama 24,2 cm hata ile tespit edilmiştir. Önerilen algoritma ve uygulama doğruluk ve güvenilirlik açısından mevcut tekniklerle paralel sonuçlar üretmektedir.

Doi: 10.24012/dumf.692444

ABSTRACT

Location determination in outdoor areas can be obtained accurately through GPS (Global Positioning System) systems. However, GPS systems cannot accurately measure location information in indoor environments. Special network systems are designed for location determination in indoor environments. In this article, the fingerprint of the environment was obtained by means of the sensors located in an indoor environment and the sensor node locations were determined using ANN. In the fingerprint method, the signal strength of each reference point in the indoor environment, also called the fingerprint, is measured and the fingerprints of the reference points are collected beforehand and stored in a database. Then, signals measured from any location in location detection are matched with previously collected fingerprints. Machine learning algorithms are often used for this mapping. In this article, location determination was carried out by means of ANN based fingerprint algorithm according to RSSI values obtained from grid points of 0.5x0.5m² in a indoor environment of 5x8 m². The method was applied for 2 scenarios. In the first scenario, closed environment is empty, and in the second scenario, an environment with various objects and human mobility is used. In the first scenario, there is no object and human mobility in the indoor environment. RSSI value was measured 10 times in each of the 25 randomly determined coordinates. The average values of the RSSI value at any point were calculated and given as an introduction to the ANN model. The distance between the estimated coordinate obtained from the output of the ANN and the actual position is the estimated error. In this scenario, the total error for 25 points is 455 cm and the average error was 18.2 cm. In the second scenario, an environment with office materials and human mobility is used. As in the first scenario, measurements were made from a total of 25 coordinates. The average RSSI measurements were given to the ANN input and the estimated coordinates were determined. Total error 605 cm average error 24.2 cm was obtained. The proposed algorithm and application produce parallel results with current techniques in terms of accuracy and reliability. The method can be improved by taking into consideration suggestions such as optimizing ANN, fingerprint step, choosing smaller environment grids and making more measurements, and location error can be reduced to minimum levels.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 21 February 2020

Revised: 3 April 2020

Accepted: 4 April 2020

Keywords:

RSSI, Location Detection, Fingerprint Algorithm, Sensor Node

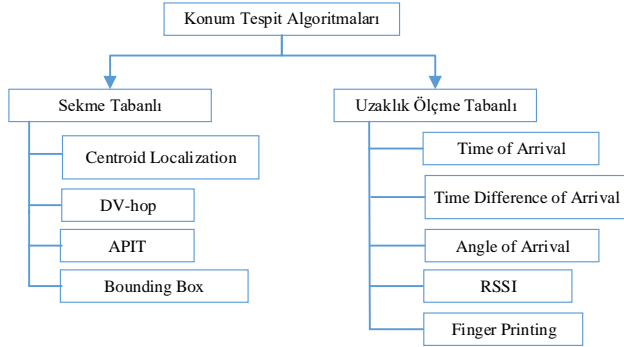
* Sorumlu yazar / Correspondence

Taner TUNCER

✉ ttuncer@firat.edu.tr

Giriş

GPS teknolojisi ile konum tespiti kapalı ortamdaki engellerden dolayı doğru bir şekilde yapılamamaktadır. Kapalı ortam konumlandırma problemini çözmek ve GPS sisteminin dezavantajlarından kurtulmak için, son yıllarda birçok teknik geliştirilmiştir [1, 2, 3]. Bunlar kapalı ortam konum tespit yöntemleri sekme zamanlı (Range free) tabanlı ve Uzaklık ölçme (Range based) tabanlı olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Sekme zaman tabanlı konum tespit yöntemlerinde düğümler arası iletişim kurulabilmesi ilkesi geçerlidir. Şekil.1 Konum tespit yöntemlerinin sınıflandırılmasını göstermektedir.



Şekil.1 Konum Tespit Yöntemleri

Single Hop, Multi hop gibi algoritmalar Sekme zaman tabanlıdır. Uzaklık ölçme tabanlıda algoritmalar iki düğüm arasındaki sinyal gücü ya da düğümler arası iletişim zamanı veya düğümler arasındaki açı gibi fiziksel büyüklükler kullanılır. İletim Zamanı (TOA, Time of Arrival), İletim zaman farkı (TDOA, Time Difference of Arrival), Geliş Açısı (AOA, Angle of Arrival), Gelen Sinyal gücü (RSSI, Received Signal Strength Indicator) ve Parmak izi (Finger Printing) algoritmaları uzaklık ölçme tabanlıdır [4, 5]. RSSI tabanlı konum tespitinde amaç sinyal gücü belli verici işaretinin alıcı tarafında ne şiddetle ölçüldüğüdür. Alınan sinyal gücünün ne kadar mesafede ne kadar bir kayba uğradığı bilgisi önemlidir ve sinyalin büyüklüğü alıcı-verici arasındaki mesafe ile orantılıdır. Bu yöntemde konum tespiti yapmak için en az 3 düğüm gerekli olup 3 düğüm ile oluşturulacak geometrik düzlemin keşimi konum bilgisini verir. Parmak izi yönteminde, kapalı ortamdaki her referans noktasının, parmak izi olarak da adlandırılan sinyal gücü ölçülerek referans noktalarının parmak izleri önceden toplanır ve bir veri tabanında saklanır [6, 7]. Ardından, konum tespitinde herhangi bir konumdan ölçülen sinyaller önceden toplanmış parmak izleriyle eşleştirilir. Bu eşleştirme için genellikle makine öğrenmesi algoritmaları kullanılır. Bu yaklaşım altyapıdan bağımsız ancak yoğun emek ister. Ayrıca, bu sistem normalde benzer parmak izi, eksik değer ve gürültülü RSSI değeri gibi sorunlardan muzdarip olduğu için düzgün bir yer tahmini sağlayamaz. Wu ve ark. benzer parmak izlerini ayırt etmek, çoklu olasılık tahminlerini modellemek ve PF'nin (Particle filter) performansını artırmak için tek gizli katman ileri besleme ağırları (SLFN, single-hidden layer feed-forward networks) kullandılar. Bu arada yakınsama süresini azaltmak için RANSAC (Ranos Sample Consensus) kullanan yeni bir başlatma algoritması sunulmuştur. Önerilen algoritmanın performansını belirlemek için deneysel ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar, önerilen şemanın

konumlandırma hatasının, 1.2 m'den daha düşük bir seviyeye düştüğünü göstermektedir [8]. Bir başka çalışmada, sinyal gücü ölçümleri RSSI'ya dayalı olarak kapalı ortam konumlandırması için parmak izi problemi ele alınmıştır. Bulanık mantığa dayalı yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Öneri, sinyal uzayında k-en yakın komşu sınıflandırmasını kullanmaktadır. Daha sonra hedef düğümün konumlandırması, en yakın parmak izlerinin ağırlıklı bir kombinasyonu olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar iki girişli Takagi – Sugeno bulanık kontrolör kullanılarak belirlenmiştir. Konum tahmininin doğruluğunu arttırmak için k-en yakın komşu tabanlı yeni bir iyileştirme önerilmiş böylece tahmin algoritmasının performansı, diğer alternatif yaklaşımlarla karşılaştırıldığında hem Monte Carlo simülasyonları hem de gerçek test senaryolarına göre başarılı elde edilmiştir [9]. Booranawong ve ark. çalışmalarında insan hareketliliğinin bulunduğu kapalı ortam konumlandırma sistemi ile insan hareketlerinin doğruluğu nasıl etkilendiği deneylerle araştırılmış ve böyle bir araştırma problemini doğrudan ele almak için kılavuz çözüm olarak basit bir RSSI filtreleme çözümü sunulmuştur. Min-Max yönteminde ortalama olarak lokalizasyon hatası ve standart sapma sırasıyla % 11.921 ve % 42.086 oranında, trilaterasyon yöntemi durumunda ise sırasıyla % 44.535 ve % 87.154 oranında azalmaktadır [10]. Fang ve ark. gürültülü ortamlarda son teknoloji ürünü konumlandırma algoritmasının hesaplama sonuçlarını iyileştirmede etkili olan yenilikçi uyarlanabilir parmak izi Kalman filtresine (AFKF, Adaptive Fingerprint Kalman Filter) dayanan WSN'ler (Wireless Sensor Networks) için gürültüye duyarlı parmak izi yerelleştirme algoritması önerdiler. Bu yeni AFKF, bir Kalman filtresi (KF), bir gürültü kovaryans tahmincisi (NCE, Noise Covariance Estimator) ve bir parmak izi Kalman filtresi (FKF, Fingerprint Kalman Filter) içermektedir. Model, RSSI-mesafe modeli oluşturulamayan ve bilinmeyen veya zamanla değişen gürültüye sahip ortamlarda kullanılabilir. Önerilen algoritma, yaygın olarak uygulanan parmak izi konumlandırma algoritmalarının doğruluğunu en az % 50 oranında artırmaktadır [11]. Kanaris ve ark. parmak izi tabanlı konumlandırma sistemlerinin objektif performans değerlendirmesi için gereken minimum konumlandırma verilerinin örneklem büyüklüğünü hesaplayan bir algoritma önerdiler. Doğru, bağımsız, tarafsız ve temsili bir örneklem büyüklüğünün kullanılması, parmak izi tabanlı bir konumlandırma sisteminin eğitim, değerlendirme ve kalibrasyon prosedürlerini hızlandırarak sistemin gerçek doğruluğunun elde edilmesini sağlar. Önerilen Örnek Boyut Belirleme Algoritması (SSDA, Sample Size Determination Algorithm) istenen güven seviyesini, küçük boyutlu bir ön numunenin sonuçta ortaya çıkan standart sapmasını ve sistemin gerçek hatasına ilişkin hata yaklaşımını dikkate almaktadır. Önerilen algoritmanın performansı hem ölçülen hem de simüle edilen radyo haritalarında test edilmiştir [12]. Haque ve ark. düşük maliyetli düşük güçlü altyapı düğümleri kullanılarak bir iç mekan konumlandırma sistemi olan LEMON'u (Location Estimation by Mining Oversampled Neighborhoods) tasarladılar. Kapsamlı deneyler, LEMON'un iyi doğruluk sağladığını göstermektedir. Bu nedenle, yöntemin bir kişinin veya bir nesnenin iç mekânda konumlandırılması için çözüm olduğu sonucuna varılmıştır [7]. Ngo ve ark. parmak izi temelli iç mekân konumlandırma performansını artırmak için yeni bir yaklaşım önerdiler. Yaklaşım, dışbükey optimizasyon

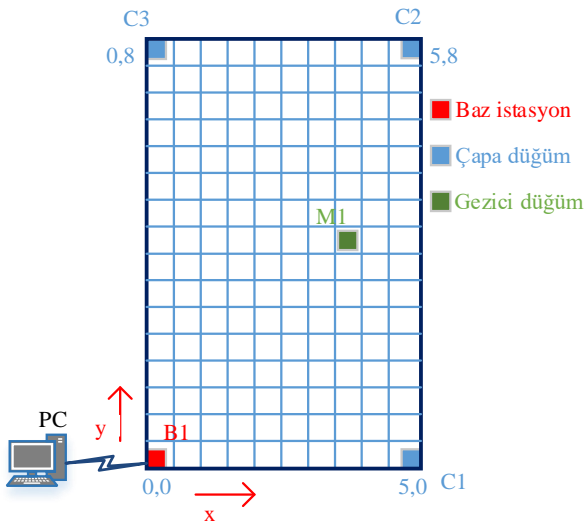
yoluyla ilk adımda alınan sinyal gücünde ciddi değişimin en aza indirildiği ve daha doğru bir yer tahmin etmek için uzaktan metrik öğrenmenin kullanıldığı iki aşamalı bir prosedürdür. Önerilen sistemin doğruluk ve güvenilirlik açısından mevcut tekniklerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [13] Rajesh ve ark. parmak izine dayalı konumlandırma için Gauss süreç gerilemesi (GPR) önerdiler. Önerilen algoritmanın performansı, gerçek alan dağıtımları kullanılarak doğrulanmış Horus parmak izi yaklaşımına kıyasla iki bölgede % 10 ve % 30 doğrulukta iyileşmeler elde edilmiştir [14].

Bu makalede $5 \times 8 \text{ m}^2$ 'lik kapalı bir ortamda $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ 'lik grid noktalarından elde edilen RSSI değerlerine göre YSA tabanlı parmak izi algoritması yardımıyla konum tespiti gerçekleştirilmiştir. Yöntem 2 senaryo için uygulanmıştır. İlk senaryoda kapalı ortam boş ikinci senaryoda çeşitli nesne ve insan hareketliliğinin olduğu bir ortam kullanılmıştır. Kapalı ortamda konum tespiti için makale aşağıdaki gibi organize edilmiştir.

Öncelikle uygulama ortamı özellikleri ve Parmak izi algoritması sunulmuştur. Sonraki bölümlerde Parmak izi tabanlı konum tespiti için ağın tasarlanma adımları verilmiştir. Daha sonra uygulama sonuçları ve literatür karşılaştırmaları verilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Uygulama ortamı

Bu makalede kapalı bir alan içerisindeki hareketli bir sensör düğümünün konumu parmak izi yöntemiyle tespit edilmektedir. Uygulama ortamı olarak $5 \times 8 \text{ m}^2$ 'lik bir kapalı alan kullanılmıştır. Kapalı alanın her bir köşesine çapa düğümler yerleştirilmiş olup, (0,0) noktası baz istasyon olarak belirlenmiştir. Diğer çapa düğümlerin koordinatları (5m,0m) , (5m,8m) ve (0m,8m) dir. Şekil.2, $5 \times 8 \text{ m}^2$ 'lik uygulama ortamının $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ 'lik gridlere bölünmüş halini göstermektedir.

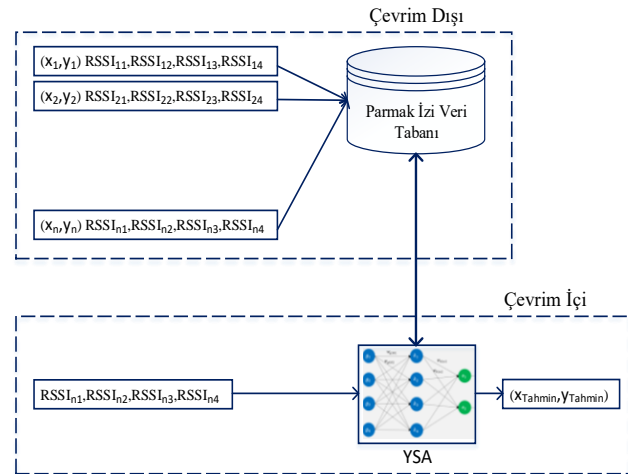


Şekil.2 x-y düzleminde kapalı ortam koordinatları, sensör ve çapa düğüm konumları

Parmak İzi Algoritması

Parmak izi konumlandırma teknolojisi, ortamın modellenmesine dayanan en popüler konumlandırma

teknolojilerinden biridir. Parmak izi konumlandırma teknolojisi esas olarak sinyali iz olarak kullanır. Her bir konumdan ölçülen sinyal gücü RSSI' nin bir veri tabanına kaydedilmesi ile oluşturulan parmak izi, herhangi bir konumda bulunan gezgin düğüm ve çapa düğümler arasında ölçülen sinyal kuvvetleriyle eşleştirme yapılır. Bu teknikte, ilk olarak, kapalı alan, koordinatların bilindiği gridlere bölünür. Ardından, her bir grid için tüm çapa düğümler ile gezgin düğümler arası ölçülen RSSI değerleri baz istasyonu üzerinden bir veri tabanına kaydedilir. RSSI haritası bu aşamada oluşturulur. Oluşturulan bu veri tabanı parmak izi olarak adlandırılır. İki adımlı süreçten oluşan parmak izi algoritmasının şematik gösterimi Şekil.3'de gösterilmektedir.



Şekil.3 Parmak izi algoritmasının şematik gösterimi

Şekil.3'de çapa düğümlerden elde edilen RSSI ve konumların veri tabanında saklanması gösterilmiştir. Bu süreç çevrim dışı gerçekleştirilir. İkinci olarak herhangi bir konumda bulunan ve konumu tespit edilecek sensör düğüm ve çapa düğümler arası yapılan iletişimle elde edilen RSSI' lar parmak izi algoritmasına girdi olarak verilir. Algoritmanın çıkışından elde edilen sonuç sensör düğümün tahmini konumudur. Bu süreç çevrim içi olarak adlandırılır.

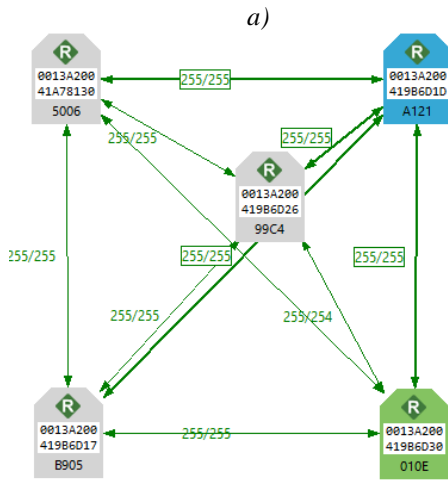
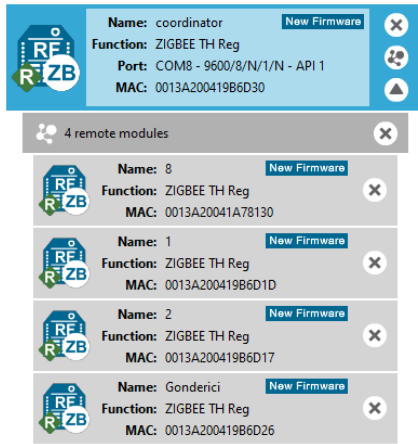
Parmak izi tabanlı konum tespiti ve ağın tasarlanması

Şekil.2 de gösterilen alanda konum tespit sistemini gerçekleştirmek için 2 aşamalı bir süreç izlenmiştir. Bu süreçler çevrim içi ve çevrim dışı çalışmadır. Uygulama alanının köşelerine 3 adet çapa (C1,C2,C3), 1 adet baz istasyon düğümü (B1) ve uygulama ortamının herhangi bir koordinatına yerleştirilmiş ve konumu tespit edilecek bir hareketli düğüm(M1) yerleştirilmiştir. Bu düğümlerde Zigbee haberleşme modülü olarak, digi firmasının XBee modülleri seçilmiştir. Şekil.4'de 9 voltluk güç kaynağı, arduino ve XBee modülden oluşan çapa düğümlerden biri görülmektedir.

Şekil.5.a ve 5.b' de, sensör düğümlerin konfigüre edilmesi için kullanılan XCTU aracında 5 düğümün haberleştirilmesi gösterilmiştir. MAC adresi 0013A20086030 olan düğüm baz istasyonu, 0013A200419B86D26 hareketli düğümü diğerleri ise çapa düğümleri göstermektedir.



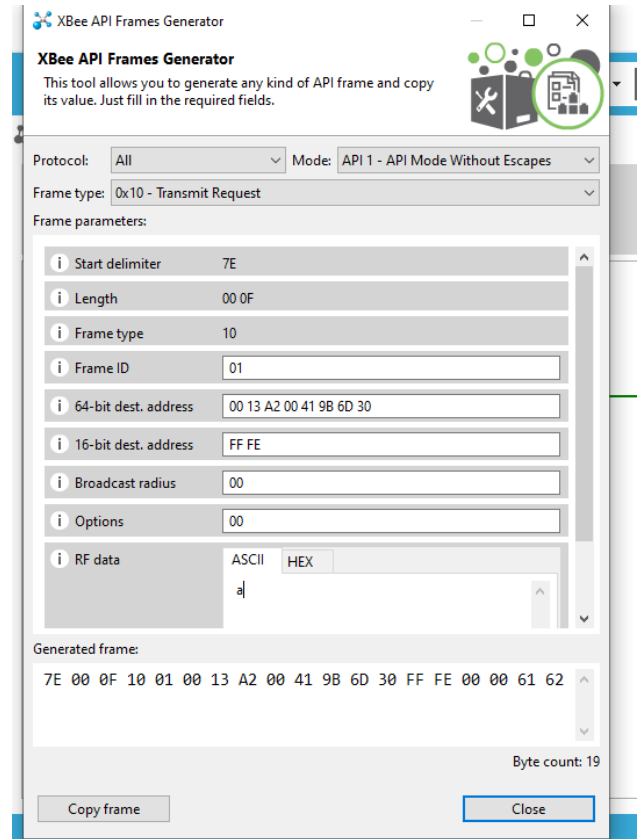
Şekil 4. Çapa sensör düğümü



Şekil.5 XCTU aracında sensör düğümlerin haberleşmesinin görünümü

C₁, C₂, C₃, B₁ ve M₁ olarak isimlendirilen düğümlerin elektronik kontrol kartı olarak programlama kolaylığı, zengin kütüphane desteği nedeniyle arduino uno elektronik kartı seçilmiştir. Bu kartlar sayesinde, Xbee modüllere gelen veriler okunabilir ve aynı şekilde seri haberleşme ile Xbee modüller üzerinden istenen veri bir başka Xbee modüle iletebilmektedir. Arduino uno, Xbee modülü ve uygun bir güç kaynağı ile oluşturulan C₁, C₂, C₃, B₁ düğümlerin aslı görevi, hareketli düğümden gelen sinyalin RSSI değerini hesaplayıp, bu değeri hareketli düğüme iletmektir. M₁ düğümünün görevi ise çapa ve baz

istasyondan gelen RSSI değerlerini baz istasyona göndermektir. Baz istasyon ise RSSI'ları USB üzerinden PC'ye göndermektedir. Çapa düğümlerde kullanılan Xbee modüllerde API modu aktif ve API çıkış modu ise "native" olacak şekilde Digi firmasının XCTU konfigürasyon yazılımı ile ayarlanmıştır. Bu ayarlamaların amacı Xbee modüllere gelen veri paketlerini direk olarak arduino kontrol kartına, UART seri port üzerinden iletmektir. Arduino'ya UART üzerinden veri paketi iletildiği zaman arduino, Xbee modüle "DB" AT komutu göndererek RSSI değerini hesaplaması emrini verir. Xbee modül bu komutun gereğini yerine getirerek, Arduino'ya hesapladığı RSSI değerini iletir. Arduino data olarak RSSI değerini, adres olarak ise baz istasyon olan M₁'in adresini içeren bir veri paketi oluşturarak C₁'in Xbee modülüne iletir. C₁, M₁'de RSSI değerini baz istasyona gönderir. Şekil.6 kullanılan bir paket yapısını göstermektedir.



Şekil.6 Koordinatör için kullanılan paket yapısı

Uygulama Sonuçları

Kapalı alanın her bir koordinatında hareketli düğüm (M₁) 5 sn boyunca 10 kez içeriği önemsiz bir veri paketini çapa ve baz istasyona göndermektedir. Paketi alan sensör düğümler RSSI değerini elde ederek M₁ düğüme göndermektedir. Hareketli düğüm her bir sensör düğümden elde ettiği RSSI değerlerini PC'ye kaydedilmek üzere baz istasyona göndermektedir. Algoritma.1 baz istasyonu için gerçekleştirilen algoritmanın sözde kodunu vermektedir.

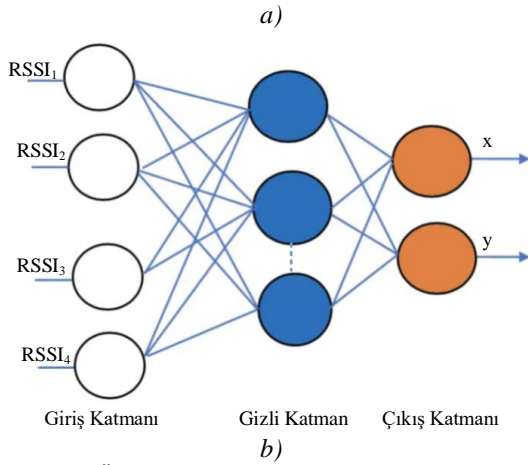
Sözde kodu verilen algoritma ile oluşturulan parmak izi çevrim dışı süreç olarak adlandırılır. Şekil.7.a baz istasyon tarafından veri tabanına kaydedilecek RSSI değerlerini göstermektedir. Çevrim içi sürecin gerçekleştirilmesi ve

konum tespiti yapmak için bu makalede ortamın öğrenilmesi amacıyla 3 katmanlı YSA mimarisi kullanılmıştır (Şekil.7.b). Kapalı ortamın tüm koordinatlarından elde edilen ve veri tabanına kaydedilen RSSI değerleri YSA'nın girişlerini, koordinatlar çıkışları oluşturmak üzere eğitim gerçekleştirilir. 3 katmanlı YSA'nın ara katmanı 20 nörondan oluşmakta olup Levenberg Marquadt eğitim algoritması kullanılmıştır. Eğitim sonucunda herhangi bir konumda bulunan hareketli düğümün çapa düğümler ile iletişimi sonucunda ölçülen ve baz istasyon tarafından PC'ye iletilen RSSI' lar YSA girişlerine verilir. YSA çıkışı tahmini konumdur.

```

Console
<terminated> MainApp (9) [Java Applicati
From 0013A200419B6D1D >> 2A | *
Node 2
0,0 -42
From 0013A20041A780B6 >> 2E | .
Node 3
0,0 -46
From 0013A200419B6D26 >> 61 | a
Hareketli Arac
0,0 -52
From 0013A200419B6D17 >> 22 | "
Node 1
0,0 -34
From 0013A200419B6D1D >> 2A | *
Node 2
0,0 -42
From 0013A20041A780B6 >> 2E | .
Node 3
0,0 -46

```



Şekil.7 a) Ölçülen RSSI değerleri b) 3 Katmanlı YSA Mimarisi

Algoritma.1 Baz istasyonu için sözde kodu

Adım1: Başla

Adım2: İletişim parametreleri belirle (Port ve Baud Rate gibi).

Adım3: Port ve Gönderim hızı için nesne oluştur.

Adım4: Alma/gönderme sınıflarını kullan.

Adım5: M1'den RSSI değerlerini içeren paket alındımı?

Hayır ise git **Adım5**

Adım6: RSSI₁, RSSI₂, RSSI₃, RSSI₄ elde et.

Adım7: RSSI'ları USB arabirimine gönder.

Adım8: USB üzerindeki veriyi (RSSI değerlerini) FileWriter sınıfı yardımıyla txt uzantılı dosyaya yaz.

Adım9: Ağ yöneticisi kontrolü program sonlandır veya

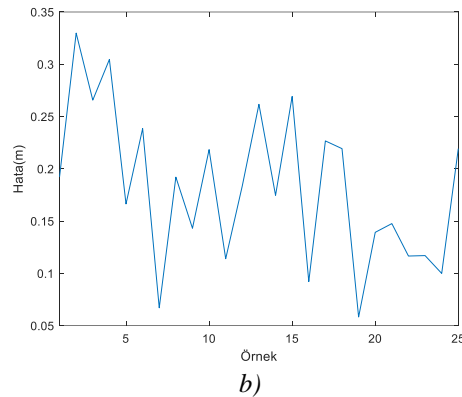
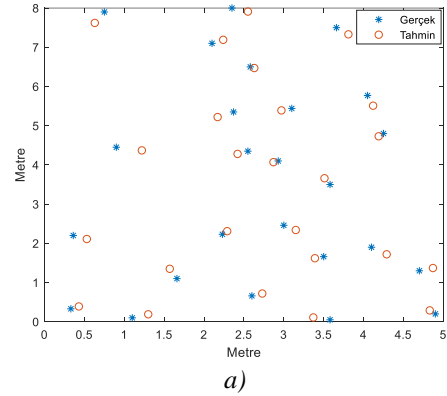
Adım5'e git

Bu makalede, x - y düzleminde konum tespiti iki senaryo ile gerçekleştirilmiştir. İlk senaryoda kapalı ortam da herhangi bir nesne ve insan hareketliliği yoktur. Rasgele belirlenen 25 koordinatın her birinde 10 kez RSSI değeri ölçülmüştür. Herhangi bir noktadaki RSSI değerinin ortalama değerleri hesaplanarak eğitimi tamamlanmış YSA modeline giriş olarak verilmiştir. YSA'nın çıkışından elde edilen (x_t, y_t) tahmini koordinatları göstermektedir. Tahmin edilen koordinat ve gerçek konum arasındaki mesafe, yani hata denklem.1'e göre, toplam hata denklem.2'ye göre hesaplanır. Burada n konumu tahmin edilecek koordinat sayısını gösterir. Denklem.3 ortalama hata hesabını gösterir. Burada T_e toplam hatayı, μ_e ortalama hatayı gösterir. Şekil.8.a gerçek ve tahmin edilen koordinatları Şekil.8.b her bir koordinat için hata değişimini göstermektedir. Toplam 25 nokta için toplam hata 455 cm ortalama hata 18.2 cm'dir.

$$e = \sqrt{(x - x_t)^2 + (y - y_t)^2} \quad (1)$$

$$T_e = \sum_{i=1}^n e_i \quad (2)$$

$$\mu_e = \frac{T_e}{n} \quad (3)$$

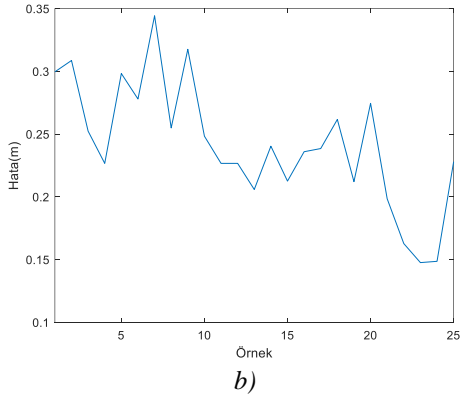
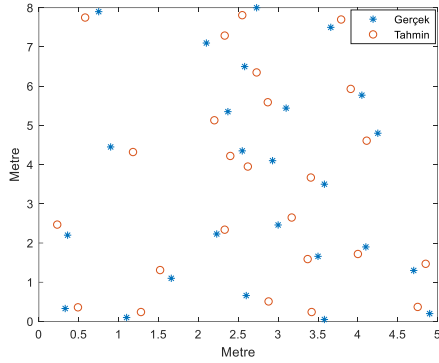


Şekil 8. Kapalı ortam boş iken elde edilen sonuçlar a) Gerçek ve tahmini sensör koordinatları b) Her bir konum için ölçülen hata

İkinci senaryoda ofis malzemelerinin ve insan hareketliliğinin olduğu bir ortam kullanılmıştır. İlk senaryoda olduğu gibi toplam 25 koordinattan ölçümler 5 sn boyunca 10 kez yapılmıştır. Bu işlemin amacı kullanılacak RSSI değerini kalibre yapmaktır. Ölçülen RSSI değerlerinden maksimum ya da minimum değer kullanılması hata değerini arttırabilmektedir. Bu şekilde

ölçüm ile hatanın artması önlenmiş olup konum tespitinde ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır.

Ortalama RSSI ölçümleri YSA girişine verilmiş tahmini koordinatlar belirlenmiştir. Şekil.9.a gerçek ve tahmin edilen koordinatları ve Şekil.9.b hata değişimlerini göstermektedir. Toplam hata 605 cm ortalama hata 24.2 cm elde edilmiştir.



Şekil 9. a) Gerçek ve tahmini sensör koordinatları b) Her bir konum için ölçülen hata

Elde edilen ortalama sonuçların literatür ile kısa bir karşılaştırması Tablo.1’de verilmektedir.

Tablo.1 Literatür karşılaştırması

Kaynak	Yöntem	Hata
[3]	Stacked Denoising Autoencoder tabanlı parmak izi algoritması	4.24m
[6]	Kaskat YSA tabanlı parmak izi	0.248m
[8]	Hidden Layer Feed-Forward tabanlı konum tespit algoritması	1.2m
[10]	KNN tabanlı parmak izi algoritması	0.57m
[15]	Mamdani-Fuzzy tabanlı konum tespit algoritması	0.3m
[16]	YSA tabanlı konum tespit algoritması	0.88m
Önerilen	YSA tabanlı parmak izi	0.182m 0.242m

Parmak izi tabanlı konum tespit algoritmaları makine öğrenmesi tabanlı algoritmaları ile birlikte uygulanmaktadır[3, 6, 8, 10, 15, 16]. Konumun minimum hata ile tahmin edilebilmesi şimdilerde derin öğrenme gibi

makine öğrenmesi algoritmaları kullanılabilir [2]. Tablo.1’e göre konum hatası kabul edilebilir seviyelerdedir. Bu başarının altında yatan en büyük nedenler parmak izi adımının küçük seçilmesi, kapalı ortamın küçük boyutlu olması ve uygun parametreler ile makine öğrenmesi algoritmasının kullanılmasıdır.

Sonuçlar

Parmak izi tabanlı konum tespiti, zaman, alan ve yoğun emek harcanması gereken bir algoritmadır. Bununla birlikte, parmak izi veri tabanı oluşturmak için ortamdan büyük miktarda veri toplanmalıdır. Bu dezavantajlara rağmen büyük miktarda veri toplanması durumunda konum tespit doğruluğu yüksek bir algoritmadır. Bu makalede 2 boyutlu bir ortamda 2 senaryo ile gerçekleştirilen parmak izi tabanlı bir konum tespit yönteminin gerçekleştirilmesi sunulmuştur. Yöntem, YSA’nın optimize edilmesi, parmak izi adımının yani ortam gridlerinin daha küçük seçilmesi ve daha fazla ölçüm yapılması gibi öneriler dikkate alınarak geliştirilebilir ve konum hatası minimum düzeylere indirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından 208E070 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- G. Félix, M. Siller E. Álvarez “A fingerprinting indoor localization algorithm based deep learning”, 2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp.1006-1011, 2016
- Z. Liu, B. Dai, X. Wan, X. Li, “Hybrid Wireless Fingerprint Indoor Localization Method Based on a Convolutional Neural Network”, Sensors, 19, 4597; doi:10.3390/s19204597, 2019.
- R. Wang, Z. Li, H. Luo, F. Zhao, W. Shao, Q. Wang, “A Robust Wi-Fi Fingerprint Positioning Algorithm Using Stacked Denoising Autoencoder and Multi-Layer Perceptron”, Remote Sens. 11, 1293; doi:10.3390/rs11111293, 2019.
- Y. Zhang, L. Lu, Y. Wang, C. Chen, “WLAN indoor localization method using angle estimation”, AEU - International Journal of Electronics and Communications, Vol.76, pp:11-17,2017.
- G. Deak, K. Curran, J. Condell, “A survey of active and passive indoor localization systems, Computer Communications, Vol.35, Issue 16, pp:1939-1954, 2012.
- E. Erdem, T. Tuncer, R. Doğan, “Location Determination of a Mobile Device with a Fingerprint Algorithm using a Cascade ANN model”, Vol.12, Issue 1, pp:238 – 249,2018.
- I.T. Haque, “A sensor based indoor localization through fingerprinting”, Journal of Network and Computer Applications, Vol.44, pp:220-229,2014.
- Z. Wu, E. Jedari, R. Muscedere, R. Rashidzadeh, “Improved particle filter based on WLAN RSSI

- fingerprinting and smart sensors for indoor localization”, *Computer Communications*, Vol.83, pp:64-71, 2016.
9. M. Oussalah, M. Alakhras., “Multivariable fuzzy inference system for fingerprinting indoor localization, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.269, pp: 65-89, 2015.
 10. A. Booranawong, K. Sengchuai, N. Jindapetch, “Implementation and test of an RSSI-based indoor target localization system: Human movement effects on the accuracy”, *Measurement*, Vol.133, pp:370-382, 2019.
 11. X. Fang, L. Nan, Z. Jiang, L.Chen, “Noise-aware fingerprint localization algorithm for wireless sensor network based on adaptive fingerprint Kalman filter”, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol. 124, No. C, 2017.
 12. L. Kanaris, A. Kokkinis, G. Fortino, A. Liotta, S. Stavrou, “Sample Size Determination Algorithm for fingerprint-based indoor localization systems”, *Computer Networks*, Vol.101, pp:169-177, 2016.
 13. N. V. T.Ngo, J. G. Kim, “Sequential learning for fingerprint based indoor localization”, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol.71, pp:105-109, 2017.
 14. S. K. Rajesh, M. Hegde, N. Trigoni, “Gaussian Process Regression for Fingerprinting based Localization”, *Ad Hoc Networks*, 51, 2016.
 15. A. Saber, K. Fekher, B. Abbas, R. Abderrezak, L.K. Med, A. Mohamed, “A new fuzzy logic based node localization mechanism for wireless sensor networks”, *Future Gener. Comput. Syst.* pp:1-15. 2017.
 16. S. Tuncer, T. Tuncer, “Indoor localization with bluetooth technology using artificial neural networks”, *IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems, Bratislava, Slovakia*, pp. 213-217, 2015.

Ateş Böceği Algoritması Tabanlı PI Denetleyici Kullanarak Üç Fazlı Vienna Doğrultucunun Dinamik Performansının İncelenmesi

Dynamic Performance Investigation of Three Phase Vienna Rectifier using PI Controller based on Firefly Algorithm

Ö. Fatih Keçecioglu ^{1*}, Hakan Açıkgoz ²

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, fkececioglu@ksu.edu.tr

² Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, hakan.acikgoz@gibtu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 5 Mart 2020
Düzeltilme: 25 Haziran 2020
Kabul: 11 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Vienna Doğrultucu, Ateş Böceği Algoritması, PI Denetleyici

ÖZET

Bu çalışmada, üç fazlı Vienna doğrultucunun DA-Bara geriliminin denetimi için metasezgisel algoritmalarından biri olan Ateş Böceği Algoritması (ABA) tabanlı bir PI denetleyici yapısı önerilmiştir. ABA-PI adı verilen önerilen denetleyici yapısı içerisindeki PI denetleyicinin kazanç katsayıları ABA ile belirlenmiştir. ABA-PI denetleyicinin giriş referansı, giriş gerilimi ve yük değişimlerine karşı dinamik performansını incelemek için Matlab/Simulink ortamında kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda önerilen ABA-PI denetleyicinin tüm benzetim koşulları altında klasik PI denetleyiciye göre daha başarılı olduğu doğrulanmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.699156

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 May 2020
Revised: 25 June 2020
Accepted: 11 July 2020

Keywords:

Vienna Rectifier, Firefly Algorithm, PI Controller

ABSTRACT

In this study, a PI controller structure based on Firefly Algorithm (FA), which is one of the metaheuristic algorithms is proposed for the control of the DC-Bus voltage of the three-phase Vienna rectifier. The gain coefficients of the PI controller within the proposed controller structure that is called FA-PI are determined by FA. In order to verify the dynamic performance of the proposed controller against input reference, input voltage, and load changes, simulation studies have been carried out under Matlab/Simulink environment. As a result of the simulation studies, it is confirmed that the proposed FA-PI controller is more successful than the classical PI controller under all simulation conditions.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Ö. Fatih KEÇECİOĞLU

✉ fkececioglu@ksu.edu.tr

Giriş

Günümüzde, birçok sistem güç elektroniği dönüştürücüleri aracılığıyla şebekeye bağlanmaktadır. Özellikle, üç fazlı AA-DA doğrultucu sistemleri enerji endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu doğrultucular elektrikli araç şarjı, batarya şarj sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri gibi gelişmekte olan uygulamalarda performansın artırılması için önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Geleneksel iki seviyeli altı anahtarlı yükselten doğrultucular uygulamalarda yoğun olarak kullanılsa da bu doğrultucular harmonikli giriş akımı ve düşük güç faktörü gibi dezavantajlara sahip ve şebekede güç kalitesi sorunlarına neden olmaktadır [1]. Doğrultucular sahip olduğu bu dezavantajları gidermek için araştırmacılar, güç faktörü düzeltmeli, darbe genişlik modülasyonlu ve çok seviyeli doğrultucular gibi çeşitli doğrultucu devre yapılarını geliştirmişlerdir [2-5]. Çok seviyeli doğrultucular, düşük anahtarlama gerilimi ve stresi, yüksek verimlilik gibi üstünlükleri nedeniyle uygulamalarda tercih edilir hale gelmiştir [6-8].

Çok seviyeli doğrultucu yapıları içerisinde yer alan Vienna doğrultucu yapısı, telekomünikasyon sistemlerinin güç kaynaklarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [9]. Vienna doğrultucular yüksek verimlilik ve güç yoğunluğu, yüksek güvenilirlik, azaltılmış anahtarlama elemanı sayısı ve birim güç faktöründe çalışma özellikleri sayesinde elektrikli araç batarya şarj sistemleri, esnek AA iletim sistemi cihazları ve rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılmaktadır [10-12].

Metasezgisel optimizasyon algoritmaları günümüzde mühendislik alanında birçok problemin çözümü için kullanılmaktadır. Ateş böceklerinin davranışlarından esinlenerek literatüre katılmıştır [13]. Literatürde ABA ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, ABA'nın basit hesaplama adımı ve daha hızlı yakınsama gibi avantajlarından dolayı ABA'nın yapay arı kolonisi, parçacık sürüsü optimizasyonu ve Bakteri Yiyecek Arama Optimizasyonu gibi diğer meta sezgisel algoritmalara karşı üstünlüğü literatürde bildirilmiştir [14-16]. Bununla birlikte bahsedilen bu üstünlüklerinden dolayı literatürde PID denetleyicilerin kazanç katsayılarını belirlemek için ABA son zamanlarda

araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilir hale gelmiştir [17-19]. Vienna doğrultucu yapısı ve Ateş Böceği Algoritması (ABA) ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

Lai vd. [20], üç fazlı Vienna doğrultucu yapısı için yeni bir modelleme yapısını dq-eksen akımları için önermişlerdir. Bu yeni yöntem için detaylı matematiksel ifadeleri elde etmişler ve bu d-q eksenlerinin denetimleri için klasik PI denetleyiciler kullanmışlardır. Yazarlar, önerilen yöntemin doğruluğunu sağlamak için benzetim ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Reddy ve Ramasamy [10], yaptıkları çalışmada rüzgar enerji sistemine bağlı bir üç fazlı Vienna doğrultucunun denetimi için radyal tabanlı bir denetleyici yapısı sunmuşlardır. Önerilen denetleyici yapısı üç katmandan oluşmaktadır. Önerilen denetleyici yapısına sahip olan Vienna doğrultucu için benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Aiello vd. [21], üç fazlı bir Vienna doğrultucu yapısı için FGPA tabanlı bir dinamik model gerçekleştirmişlerdir. Benzetim ve deneysel çalışmalar ile test çalışmaları yapmışlardır. Yu vd. [22], yaptıkları çalışmada gerilim sensörsüz üç fazlı Vienna doğrultucu için model öngörülü sanal akı denetimli set model geliştirmişlerdir. Çalışmada ilk olarak dq-eksen akımları arasındaki sanal akıların ilişkileri incelenmiştir. Daha sonra ise aktif ve reaktif güç denklemlerinden faydalanarak referans sanal akı hesaplanmış ve nötr nokta gerilimini dengelemek için ön vektör seçimi yapılmıştır. Benzetim ve deneysel çalışmalar ile önerilen yöntemin doğruluğu sağlamışlardır. Li vd. [23], Vienna doğrultucu yapısı için çift çevrime sahip olan melez bir denetim şeması önermişlerdir. Çalışmada, PI denetleyici, doğrultucu yapısının DA-barasını ve reaktif güç denetimi için tercih edilirken giriş akımları ile nötr nokta gerilim denetiminde model öngörülü denetim yöntemi uygulanmıştır. Yazarlar, bu yöntemin başarımını doğrulamak için deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kedjar vd. [24], Vienna doğrultucu yapısı ile reaktif güç kompanzasyonu yeteneğine sahip ve harmonikleri azaltacak bir sistem tasarlamışlardır. Çalışmada, bu sistem için detaylı bir teorik çalışma gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Doğrusal Kuadratik Regülatör denetleyici yapısına İntegral eklenerek daha dayanıklı bir

denetleyici elde edilmiştir. Önerilen sistemin performansı deneysel çalışmalar yapılarak doğrulanmıştır. Aissa vd. [25], üç fazlı Vienna doğrultucu için bulanık mantık tabanlı bir akıllı PI denetleyici yapısı önermişlerdir. Önerilen denetleyici yapısı ile sabit DA-bara gerilimin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yazarlar ilk olarak benzetim çalışmaları yaparak klasik PI denetleyici ile önerdikleri denetleyici yapısını farklı senaryolar ile karşılaştırmışlardır. Daha sonra Vienna doğrultucu yapısı için deneysel kurulum gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Dang vd. [26], yaptıkları çalışmada Vienna doğrultucu yapısı için yeni bir model öngörülü denetim şeması önermişlerdir. İlk olarak Vienna doğrultucu yapısının çıkışında bulunan DA-bara gerilimleri her örnekleme periyodu aralığındaki tüm anahtarlama durumlarına göre tahmin edilmiştir. Nötr nokta gerilimindeki dengesizlik ile baş etmek için yeni bir maliyet fonksiyonu geliştirilmiştir. Bu fonksiyon her bir hesaplamadan sonra güncellenmektedir. Deneysel çalışmalar ile önerilen denetim yönteminin performansı incelenmiştir.

Sundareswaran vd. [27], ateşböceği algoritmasını kullanarak kısmi gölgelenme koşulları altında fotovoltaik sistemler için bir maksimum güç noktası izleme yöntemi geliştirmişlerdir. Belkacem vd. [28] yaptıkları çalışmada çok seviyeli eviricilerde toplam harmonik bozulmayı en aza indirmek için ateşböceği algoritmasını kullanarak en iyi anahtarlama açılarını bulan bir yöntem önermişlerdir. Demirdelen [29], çalışmasında ateş böceği algoritması yöntemi kullanılarak kuru tip transformatörü maksimum verim elde edilebilecek şekilde yeniden

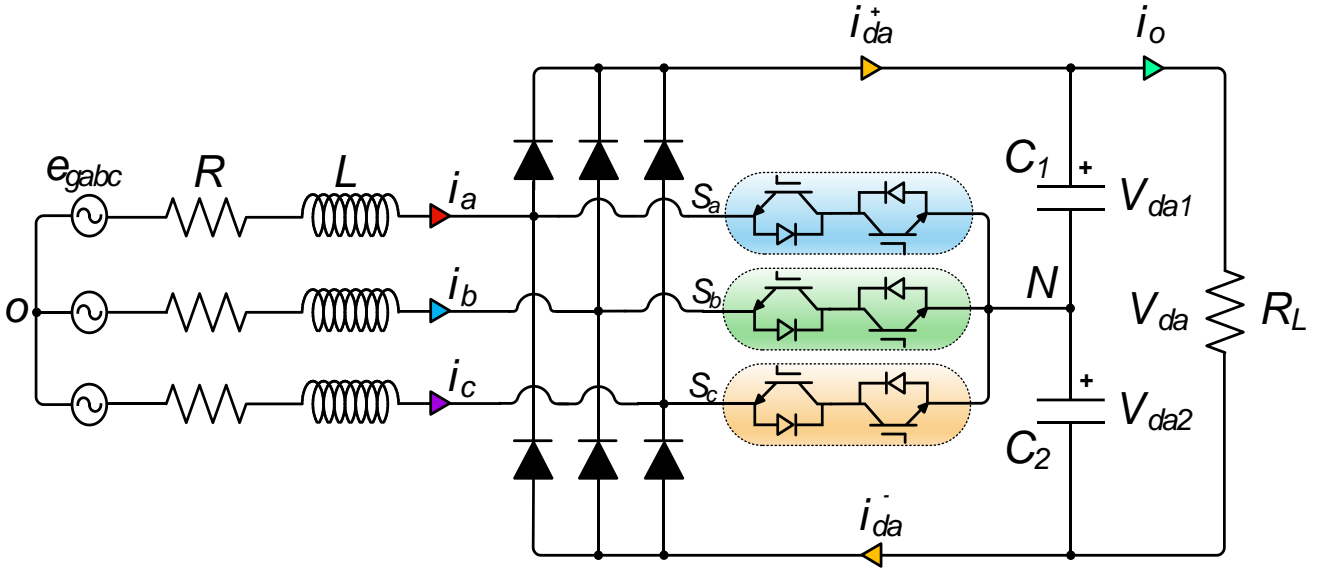
tasarlamıştır. Merugumalla ve Navuri [30], yaptıkları çalışmada fırçasız doğru akım motor sürücüsünün denetimi için ateşböceği algoritması tabanlı PID denetleyici tasarlamış ve benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar benzetim sonuçlarını kararlı durum hatası, yükselme süresi, oturma süresi ve aşım gibi zaman domeni performans kriterlerini kullanarak analiz etmiştir.

Vienna doğrultucu yapısı ve ABA ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Vienna doğrultucunun denetimi için ABA tabanlı bir denetleyici yapısı daha önce geliştirilmemiştir. Bu çalışmada üç fazlı Vienna doğrultucunun DA-Bara geriliminin denetimi ABA tabanlı bir PI denetleyici yapısı önerilmiştir.

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: Vienna doğrultucunun matematiksel modeli makalenin 2. bölümünde, ateş böceği algoritması makalenin 3. bölümünde, benzetim çalışmaları ve sonuçları ise makalenin 4. bölümünde verilmiştir.

Vienna Doğrultucu Yapısının Matematiksel Modeli

Üç fazlı Vienna doğrultucunun devre şeması Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Vienna doğrultucu yapısı; L tipi filtre, altı tane diyot, çift yönlü IGBT anahtarlar ve DA-bara kapasitörlerinden oluşmaktadır. Şekil 1'de kullanılan IGBT'lerin denetlenmesi ile giriş akımının sinüzoidal olması ve sabit çıkış geriliminin elde edilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Üç fazlı Vienna doğrultucuya uygulanan gerilimler IGBT anahtarların iletimde ya da kesimde kalma durumlarına ve şebeke akımının polaritesine bağlıdır.



Şekil 1. Üç fazlı Vienna doğrultucu yapısı

Şekil 1'deki doğrultucu devresine göre Vienna doğrultucunun giriş kısmındaki gerilimler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} e_{ga} &= E \sin(\omega t) \\ e_{gb} &= E \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_{gc} &= E \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

Burada, E ve ω sırasıyla gerilimin genliği ve açısal frekansdır.

$$\begin{aligned} L \frac{di_a}{dt} &= e_{ga} - Ri_a - u_{aN} \\ L \frac{di_b}{dt} &= e_{gb} - Ri_b - u_{bN} \\ L \frac{di_c}{dt} &= e_{gc} - Ri_c - u_{cN} \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, L giriş kısmında kullanılan filtre elemanıdır. e_{gabc} ve i_{abc} ise sırasıyla şebeke gerilimlerini ve faz akımlarını simgelemektedir. Vienna doğrultucunun modellenmesini daha basite indirmek için anahtarlama durumları ile daha kompakt bir eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} u_{aN} &= K_a \frac{v_{da}}{2} \\ u_{bN} &= K_b \frac{v_{da}}{2} \\ u_{cN} &= K_c \frac{v_{da}}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

Burada, v_{da} çıkış kısmındaki DA-bara gerilimin temsil etmektedir. K_i $\{i=a,b,c\}$ aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{aligned} K_a &= (1 - S_a) \operatorname{sgn}(i_a) \\ K_b &= (1 - S_b) \operatorname{sgn}(i_b) \\ K_c &= (1 - S_c) \operatorname{sgn}(i_c) \end{aligned} \quad (4)$$

Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak üç fazlı gerilim dalga şekillerinin $-\pi/6$ ile $\pi/6$ bölgesinde kalan kısmı için anahtarlama durumları Tablo 1'de verilmiştir. Üç fazlı değişkenlerin dq-eksenlerinde değerlerine dönüşümü için park dönüşümü yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bu dönüşümlerdeki kenetlenme etkisi nedeniyle denetleyici tasarımı zorlaşmaktadır. Denklem 2'de verilen eşit, Park dönüşümü yardımıyla dq-eksenlerine aşağıdaki gibi dönüştürülebilir:

Tablo 1. Vienna doğrultucu için anahtarlama durumları

S ₁	S ₂	S ₃	U _{aN}	U _{bN}	U _{cN}
0	0	0	V _{da} /2	-V _{da} /2	-V _{da} /2
0	0	1	V _{da} /2	-V _{da} /2	0
0	1	0	V _{da} /2	0	-V _{da} /2
0	1	1	V _{da} /2	0	0
1	0	0	0	-V _{da} /2	-V _{da} /2
1	0	1	0	-V _{da} /2	0

1	1	0	0	0	$-V_{da}/2$
1	1	1	0	0	0

$$L \frac{di_d}{dt} = e_d - Ri_d + \omega Li_q - u_d$$

$$L \frac{di_q}{dt} = e_q - Ri_q - \omega Li_d - u_q$$
(5)

Üç fazlı Vienna doğrultucunun DA-bara çıkışında kullanılan kapasitörler (C_1 ve C_2) için dinamik eşitlikler de aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$C_1 \frac{dV_{da1}}{dt} = i_{dc}^+ - i_o$$

$$C_2 \frac{dV_{da2}}{dt} = i_{dc}^- - i_o$$
(6)

Bu ifadede verilen i_{dc}^+ ve i_{dc}^- ; DA-baradan üzerinden geçen akımları i_o ise yük akımıdır. Bu akımlar şu şekilde tanımlanabilir:

$$i_{dc}^+ = \sum_{i \in \{a,b,c\}} (1 - S_i) \left[\frac{\text{sgn}(i_i) + 1}{2} \right] i_i$$

$$i_{dc}^- = \sum_{i \in \{a,b,c\}} (1 - S_i) \left[\frac{\text{sgn}(i_i) - 1}{2} \right] i_i$$
(7)

Doğrultucu devresinin aktif (P) ve Reaktif güç (Q) eşitlikleri ise aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir. Ayrıca, birim güç faktöründe çalışma için q-ekseni akımının değerinin sıfıra eşit olarak seçilmesi gerekmektedir ve denetiminin de yapılması oldukça önemlidir.

$$P = \frac{3(e_d i_d + e_q i_q)}{2}$$

$$Q = \frac{3(e_q i_d - e_d i_q)}{2}$$
(8)

Ateş Böceği Algoritması

Ateş böceği algoritması (ABA), ateş böceklerinin davranışlarına ve parlaklıklarına dayalı metasezgisel bir optimizasyon yöntemidir. Yang [13] tarafından literatüre katılan ABA yönteminin aşağıda belirtilen üç temel varsayımı vardır. Bunlar:

- Tüm ateş böcekleri cinsiyetsiz kabul edilir cinsiyetlerine bakılmaksızın daha çekici ve daha parlak olana doğru hareket edilir.
- Bir ateş böceğinin çekiciliği, kendisi ve diğer ateş böcekleri arasındaki mesafeye bağlı olan parlaklığı ile ilgilidir. Bununla birlikte, havadaki ışık Emilimi nedeniyle, mesafe arttıkça çekicilik azalır.
- Bir ateş böceğinin parlaklığı veya ışık yoğunluğu, verilen bir problemin amaç fonksiyonunun değeri ile belirlenir.

Ateş böceği algoritması matematiksel olarak, üç denklemlerle ifade edilebilir. Ateş böceklerinin çekicilik (β) parametresi için şu ifade kullanılır:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad m \geq 1$$
(9)

bu ifadede verilen β_0 parametresi $r = 0$ 'daki başlangıç çekiciliğidir. r parametresi, iki ateş böceği arasındaki mesafedir. γ , ışık yoğunluğunun azaltılmasını kontrol eden bir soğurma katsayısıdır. m bir tamsayıdır. İki ateşböceğini, sırasıyla x_i ve x_j konumlarında kabul ederek ve iki ateşböceği algoritması arasındaki mesafe şu şekilde tanımlanabilir:

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}$$
(10)

burada $x_{i,k}$ ve $x_{j,k}$, i ve j . ateşböceğinin uzamsal koordinatlarının k . bileşenleridir d parametresi ise boyutların sayısıdır. Bir ateş böceğinin hareketi şu şekilde belirlenir:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \left(\text{rand} - \frac{1}{2} \right)$$
(11)

Burada, $\alpha \in [0,1]$ ve rand rastgele bir pertürbasyon değeridir. Bu ifade aynı zamanda bir ateş böceğinin hareketinin çekicilik ve rasgeleleştirmeden etkilendiğini açıkça belirtir. Genel olarak, küçük α değeri yerel noktaları aramayı, büyük α değeri ise global noktaları aramayı sağlar. Vienna doğrultucunun DA-Bara geriliminin denetimi için önerilen ABA-PI denetleyicinin kazanç katsayılarını bulmak için kullanılan ABA parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Tüm bu algoritma parametreleri yapılan kapsamlı simülasyon çalışmaları ile seçilmiştir. Ayrıca denetleyicinin kazanç katsayılarının ABA yardımı ile bulunması süreci

akış şeması ile Şekil 2 üzerinde açıkça gösterilmiştir.

Tablo 2. ABA parametreleri

Parametre	Değeri
β_0	2
m	2
γ	1
Popülasyon Sayısı	10
Maksimum İterasyon Sayısı	20

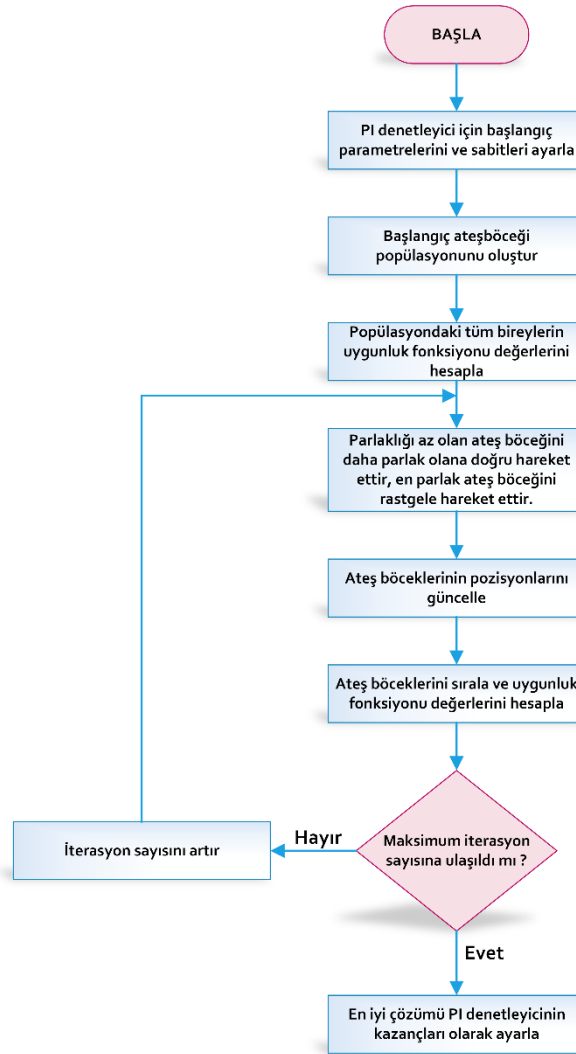
Benzetim Çalışmaları

Bu kısımda üç fazlı Vienna doğrultucu devresinin DA bara geriliminin denetiminde kullanılan ABA-PI denetleyicinin performansını doğrulamak için üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar Matlab/Simulink ortamı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Vienna

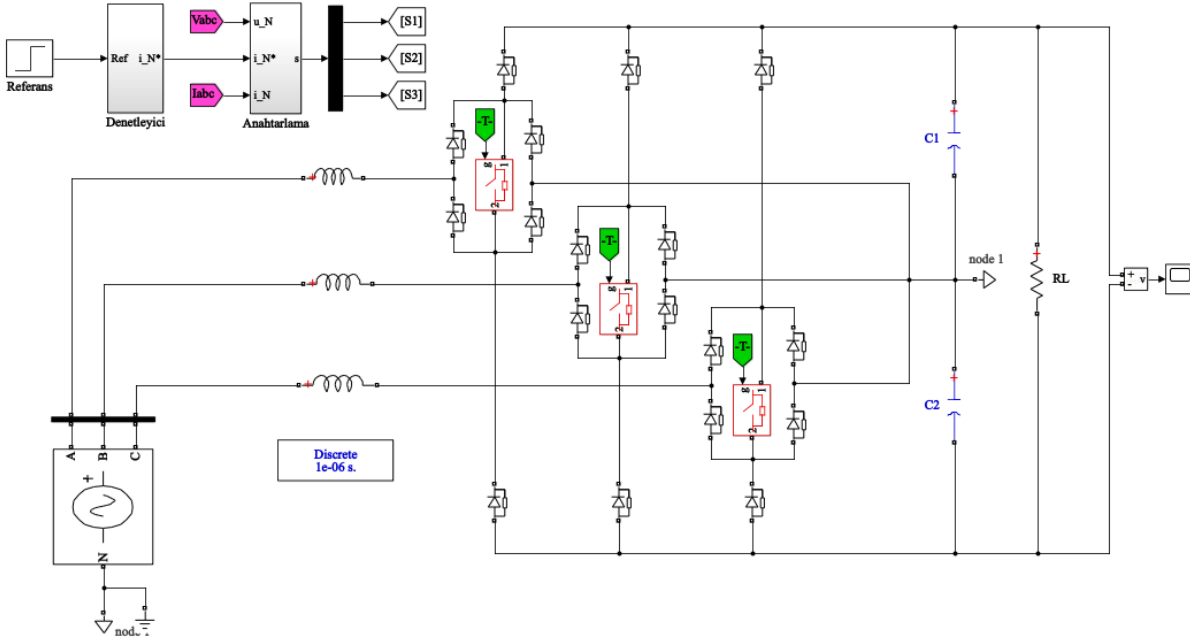
doğrultucu yapısına ait benzetim modeli Şekil 3'te, benzetim çalışmasında kullanılan parametreler ise Tablo 3'de verilmiştir. Benzetim çalışmalarında kullanılan PI denetleyicinin başlangıç değerleri ilk olarak Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenmiş ve daha sonra deneme-yanılma yöntemiyle ayarlanmıştır.

Tablo 3. Vienna Doğrultucu Yapısının Parametreleri

Parametre	Değeri
Giriş Gerilimi	400 V
DA Bara Gerilimi	600 V
Kapasitörler	2000 μ F
Hat Endüktansı ve İç Direnci	0.3 mH 0.1 Ω
Rezistif Yük	40 Ω
Örnekleme Periyodu	1 μ s



Şekil 2. Ateş böceği algoritması akış şeması

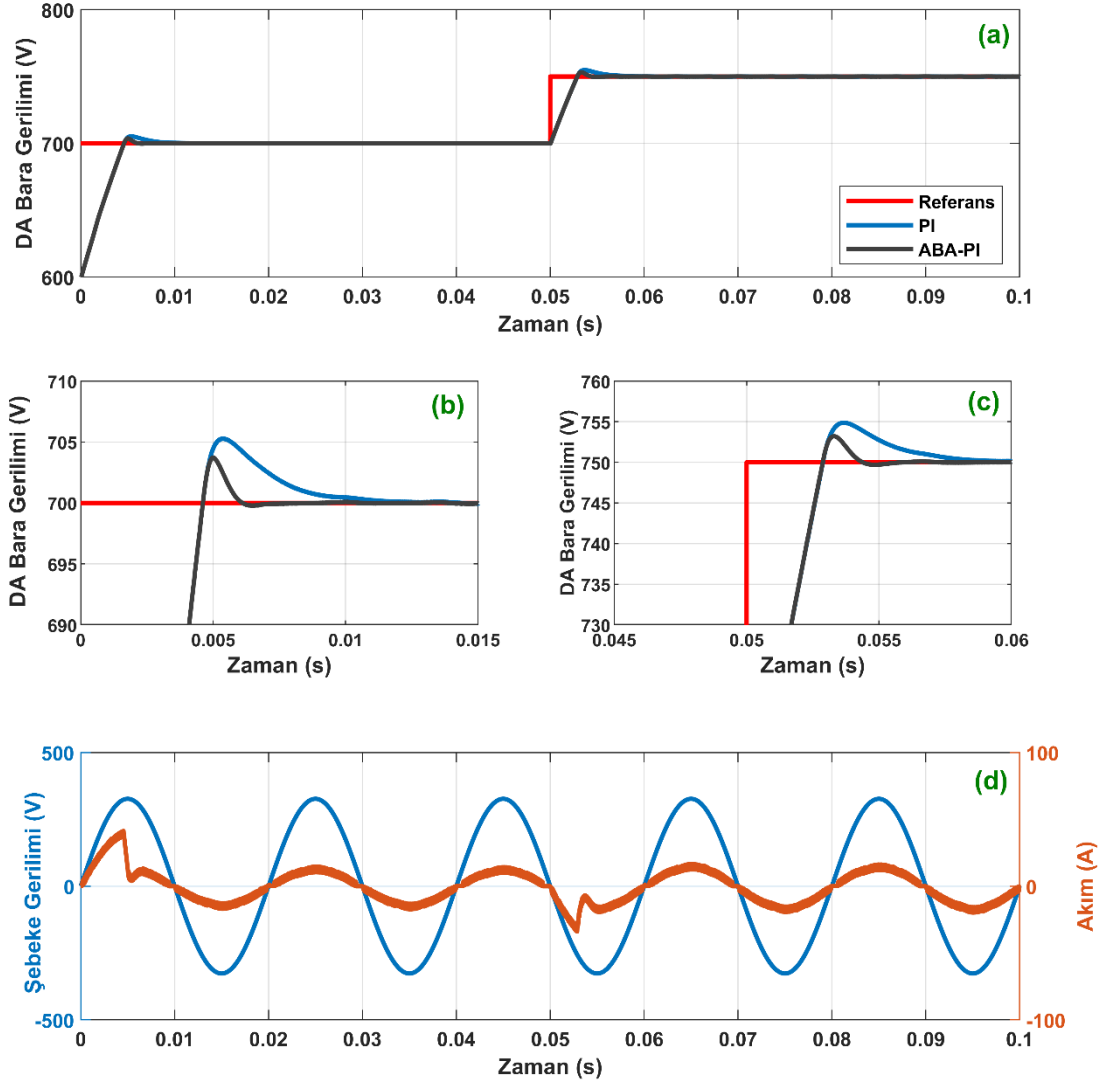


Şekil 3. Benzetim Modeli

Senaryo-1: Referans DA-Bara Değişimi

Bu senaryoda önerilen denetleyicinin giriş DA Bara gerilimi değişimine karşı referansı takip edebilme performansını incelemek için referans DA Bara gerilimi benzetim çalışmasının belirli bir zamanında 700 V'dan 750 V'a yükseltilmiştir. Aynı zamanda bu senaryo, sabit yük ve dengeli şebeke gerilimi koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Denetlenen sistemi, dinamik performans kriterleri (yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım) açısından incelenmek için önerilen denetleyici yapısı ile klasik PI tipi denetleyicinin başarımları karşılaştırılmıştır. Bu senaryo için elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4 (a)'da görüldüğü üzere DA bara referans gerilimi benzetim çalışmasının 0.05. saniyesinde 700 V değerinden 750 V değerine yükseltilmiştir. Denetleyicilerin referans

DA Bara gerilimi değişimine verdikleri cevaplar detaylı olarak sırasıyla Şekil 4 (b) ve (c)'de sunulmuştur. Önerilen ABA-PI denetleyici 5.2 ms sonra referans değerini yakalarken PI denetleyici ise 6ms sonra referansı takip edebilmiştir. ABA-PI ve klasik PI denetleyicilerin aşım cevapları ise sırasıyla 753 V ve 754.7 V olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 (d)'de ise şebeke gerilim ve akımlarının A-fazı için dalga şekilleri verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde akım ve gerilim arasında faz farkının bulunmadığı ve her iki denetleyicinin de Vienna doğrultucuyu birim güç faktöründe başarı ile çalıştırdığı görülmektedir. Her iki denetleyici yapısı için başarımların sonuçları incelendiğinde; ABA-PI denetleyicinin bu senaryoda tüm performans kriterleri bakımından klasik PI denetleyiciden daha başarılı olduğu açıkça görülmüştür.

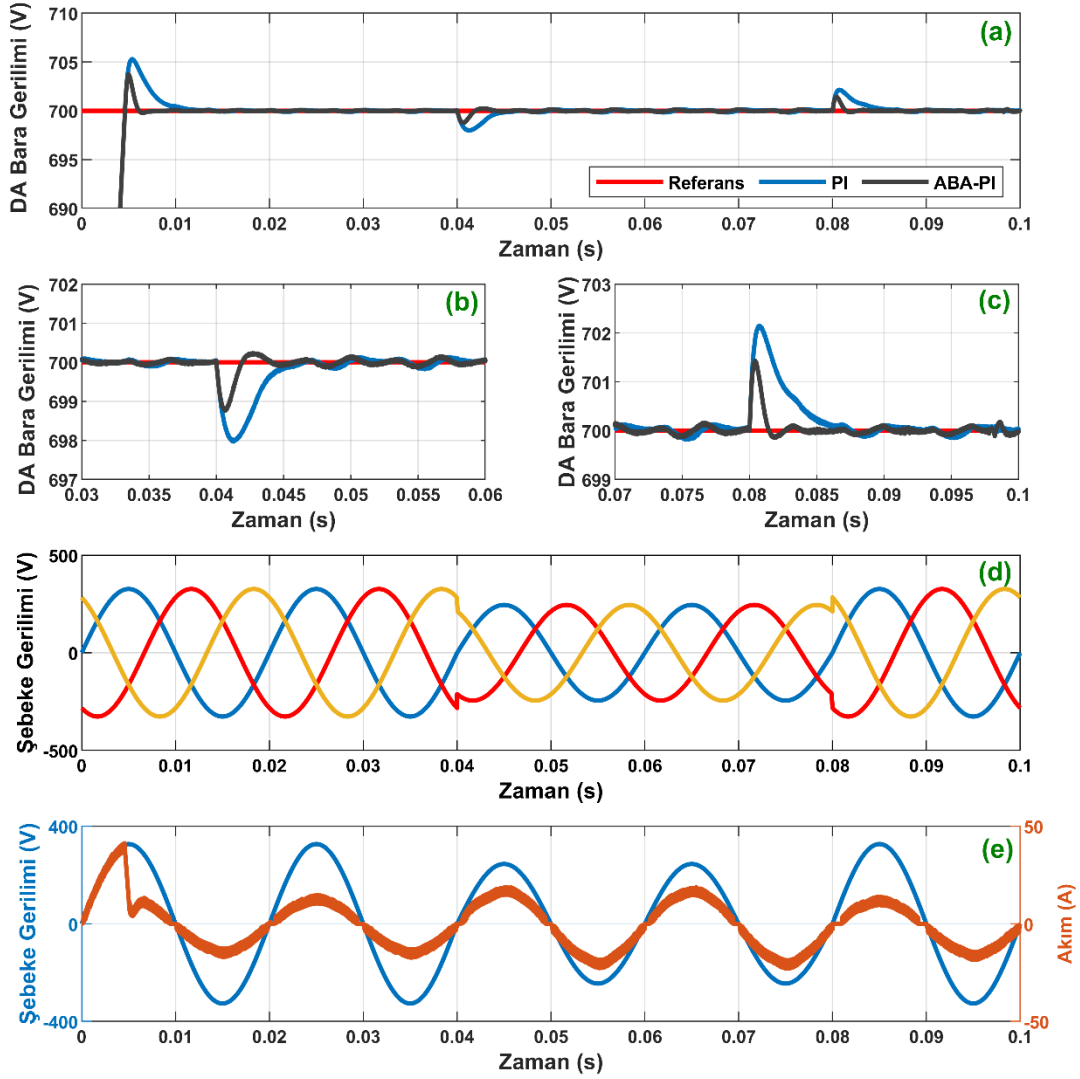


Şekil 4. Senaryo-1 için elde edilen benzetim sonuçları

Senaryo-2: Gerilim Çökmesi Durumu

Bu senaryoda Vienna doğrultucu için önerilen ABA-PI denetleyicinin performansı üç fazlı gerilim çökmesi koşulu altında incelenmiştir. Bu amaç için benzetim çalışmasının 0.04. saniyesinde başlayan ve iki periyot boyunca devam eden %10'luk üç fazlı gerilim çökmesi olayı meydana getirilmiştir. Bu senaryodan elde edilen benzetim çalışmaları sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 (a-d)'de görüldüğü üzere gerilim çökmesi olayında DA bara geriliminin cevabı önerilen denetleyici için 699 V değerine,

klasik PI denetleyicide ise 698 V değerine düşmektedir. Bu gerilim çökmesi olayı ortadan kaldırıldığında ise DA bara gerilimi cevapları sırasıyla 701.4 V ve 702.1 V olmuştur. Bu geçici durum karşısında şebeke akımı Şekil 5 (d)'de görüldüğü üzere DA bara gerilimini sabit tutmak için artmıştır. Benzetim çalışmasının sonuçları dikkatlice incelendiğinde önerilen ABA-PI denetleyicinin şebekede meydana gelebilecek bu tür olaylara karşı klasik PI denetleyiciden daha kararlı yapıda olduğu ve sistemin dinamik performansını iyileştirdiği bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5. Senaryo-2 için elde edilen benzetim sonuçları

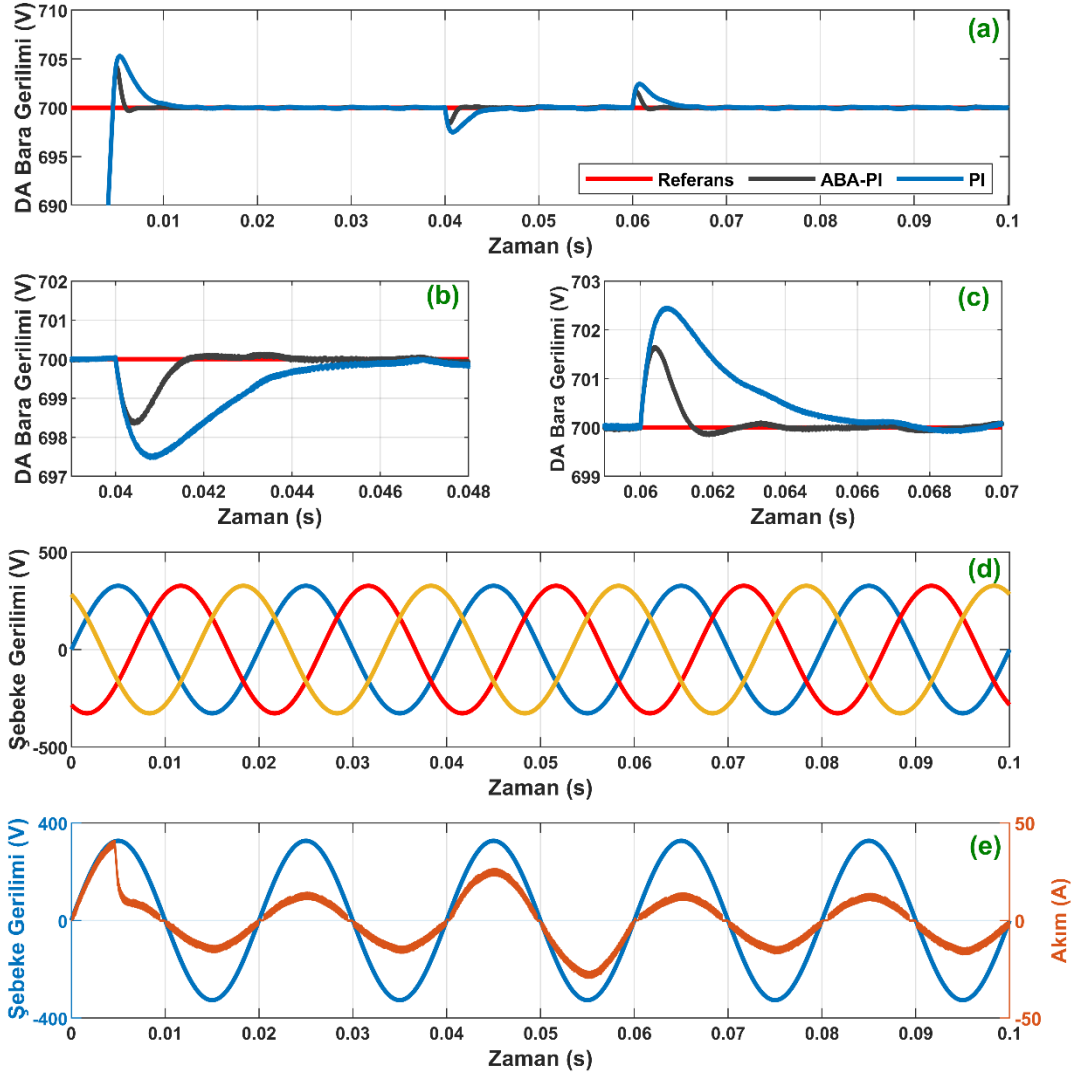
Senaryo-3: Ani Yük Değişimi

Benzetim çalışmalarının bu senaryosunda Vienna doğrultucunun performansı yük değişimi altında her iki denetleyici yapısı için incelenmiştir. Bu senaryoda Vienna doğrultucunun DA bara gerilim değeri tüm benzetim süresi boyunca 700 V değerine ayarlanmıştır. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar Şekil 6 üzerinde sunulmuştur. Vienna doğrultucunun çıkışına bağlı olan rezistif yüklerin değeri 0.04. saniyede 40Ω 'dan 20Ω 'a düşürülmüş ve daha sonra bu 20Ω 'luk yük değeri 0.06. saniyede eski

değerine getirilmiştir. ABA-PI ve PI denetleyicilerin bu yük değişimine karşı verdikleri DA bara gerilim cevapları Şekil 6 (a-c)'de gösterilmiştir. Önerilen denetleyicinin DA bara gerilim cevabı, bu yük değişiminde 698.4 V'a anlık olarak düşmüş ve çok hızlı bir şekilde toparlanarak 2ms sonra referans DA bara gerilimini takip etmeyi başarmıştır. Bu yük değişimine karşı klasik PI denetleyicinin DA bara gerilim cevabı 700 V değerinden 697.2 V' değerine düşmüş ve 7 ms sonra referans DA bara gerilimini yakalamıştır. Buradan, ABA ile PI denetleyicinin dinamik performansının %71

oranında iyileştirildiği ifade edilebilir. Şekil 6 (d)'de görüldüğü üzere yük değişimi koşulu altında şebeke geriliminde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. Bununla birlikte, Şekil 6

(e) incelendiğinde, yük değişimlerinde şebeke akımı ve gerilimi arasındaki faz farkı korunmuş olup Vienna doğrultucu birim güç faktöründe çalışmayı başarmıştır.



Şekil 6. Senaryo-3 için elde edilen benzetim sonuçları

Sonuçlar

Bu çalışmada, üç fazlı bir Vienna doğrultucu devresinin DA-bara geriliminin dinamik cevabını iyileştirmek için ABA-PI denetleyici yapısı önerilmiştir. Bilindiği gibi klasik PI denetleyicilerin kazanç parametrelerinin belirlenmesi için ya deneme-yanılma yöntemi ya da indirgenmiş matematiksel model yardımıyla oluşturulan transfer fonksiyonlarından faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerin her ikisi de hem zaman almakta hem de denetlenecek olan sistemin doğru bir matematiksel modeline sahip olmadıkları için zayıf performanslara sahip

olmaları istenilmeyen özelliklerindedir. Bu sorunların üstesinden gelmek için optimizasyon yöntemleri bir çözüm yolu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, Ateş Böceği Algoritması (ABA) yardımıyla PI denetleyicinin kazanç parametrelerinin belirlenerek Vienna doğrultucu devresine uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak Matlab/Simulink ortamında Vienna doğrultucu modeli tasarlanmıştır. Daha sonra ise ABA-PI ve PI denetleyicinin parametreleri belirlenmiştir. Her iki denetleyici aynı şartları altında üç senaryo üzerinden yerleşme zamanı, yükselme zamanı ve aşım açısından karşılaştırılmıştır. Tüm benzetim

çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, ABA-PI denetleyicinin klasik PI denetleyiciye göre performansının daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Önerilen denetleyici yapısının kullanılması ile tüm sistemin performansının iyileştirilebileceği yapılan benzetim çalışmalarıyla da doğrulanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Bueno, E. J., C'obreces, S., Rodr'iguez, F. J., Hern'andez, A. Espinosa, F., (2008). Design of a back-to-back NPC converter interface for wind turbines with squirrel-cage induction generator, *IEEE Trans. Energy Convers.*, **23**, 3, 932-945.
- [2] Baev, S., Shtessel, Y., Sheffield, M., (2008). Sliding Mode Control of a Unity Power Factor 3-Phase AC/DC Boost Converter, *IEEE Southeast Conference*, 491-496.
- [3] Coteli, R., Acikgoz, H., Ucar, F., Dandil, B., (2017). Design and implementation of Type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers, *International Journal of Hydrogen Energy*, **42**, 32, 20759-20771.
- [4] Acikgoz, H., Kececioglu, O. F., Gani, A., Yildiz, C., Sekkeli, M., (2016). Improved control configuration of PWM rectifiers based on neuro-fuzzy controller, *SpringerPlus*, **5**, 1, 1142.
- [5] Rodriguez, J. R., Dixon, J. W., Espinoza, J. R., Pontt, J., Lezana, P., (2005). PWM regenerative rectifiers: state of the art, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **52**, 1, 5-22.
- [6] Kolar, J. W., Friedli, T., (2013). The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems - Part I, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **28**, 1, 176-198.
- [7] Friedli, T., Hartmann, M., Kolar, J. W., (2014). The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems - Part II, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **29**, 2, 543-560.
- [8] Zhang, X., Wang, Q., Burgos, R., Boroyevich, D., (2015). Discontinuous pulse width modulation methods with neutral point voltage balancing for three phase Vienna rectifiers, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 225-232.
- [9] Kolar, J.W., Zach, F.C., (1997). A novel three-phase utility interface minimizing line current harmonics of high-power telecommunications rectifier modules, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **44**, 4, 456-467.
- [10] Reddy, D., Ramasamy, S., (2018). Design of RBFN Controller Based Boost Type Vienna Rectifier for Grid-Tied Wind Energy Conversion System, *IEEE Access*, **6**, 3167-3175.
- [11] Liu, J., Wang, B., Zhao, H., Yang, D., Chen, Z., Yi, B., Li, M., (2018). A wind energy conversion system based on full scale VIENNA rectifier and small-scale STATCOM, *13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 1431-1436.
- [12] Anderson, J. A., Haider, M., Bortis, D., Kolar, J. W., Kasper, M., Deboy, G., (2019). New Synergetic Control of a 20kW Isolated VIENNA Rectifier Front-End EV Battery Charger, *20th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, 1-8.
- [13] Yang, X. S., (2008). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, *Luniver Press*, Cambridge, U.K.
- [14] Yang, X. S., Hosseini, S. S. S., Gandomi, A. H., (2012). Firefly algorithm for solving non-convex economic dispatch problems with valve loading effect, *Applied Soft Computing*, **12**, 1180-1186.
- [15] Chandrasekaran, K., Simon, S. P., Padhy, N. P., (2013). Binary real coded firefly algorithm for solving unit commitment problem, *Information Sciences*, **249**, 67-84.
- [16] Senthilnath, J., Omkar, S. N., Mani, V., (2011). Clustering using firefly algorithm: performance study, *Swarm and Evolutionary Computation*, **1**, 164-171.
- [17] Konstantinov, S. V., Baryshnikov, A. A., (2017). Comparative Analysis of Evolutionary Algorithms for the Problem of Parametric Optimization of PID Controllers, *Procedia Computer Science*, **103**, 100-107.
- [18] Kommula, B. N., Kota, V. R., (2020). Direct instantaneous torque control of Brushless DC motor using firefly Algorithm based fractional order PID controller, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, **32**, 2, 133-140.
- [19] Pradhan, P. C., Sahu, R. K., Panda, S., (2016) Firefly algorithm optimized fuzzy PID controller for AGC of multi-area multi-source power systems with UPFC and SMES, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, **19**, 1, 338-354.
- [20] Lai, R., Wang, F., Burgos, R., Boroyevich, D., Jiang, D., Zhang, D., (2009). Average Modeling and Control Design for Vienna-Type Rectifiers Considering the DC-Link Voltage Balance, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **24**, 11, 2509-2522.
- [21] Aiello, G., Cacciato, M., Scarcella, G., Scelba, G., Gennaro, F., Aiello, N., (2019). Real-time emulation of a three-phase Vienna rectifier with DC voltage control and power factor correction, *Electrical Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00776-y>.
- [22] Yu F., Liu X., Zhang X., Zhu Z., (2019). Model Predictive Virtual-Flux Control of Three-Phase Vienna Rectifier Without Voltage Sensors, *IEEE Access*, **7**, 169338- 169349.
- [23] Li, X., Sun, Y., Wang, H., Su, M., Huang, S., (2018). A Hybrid Control Scheme for Three-Phase Vienna Rectifiers, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **33**, 1, 629-640.

- [24] Kedjar, B., Kanaan, H.Y., Al-Haddad, K., (2014). Vienna Rectifier with Power Quality Added Function, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **61**, 8, 3847-3856.
- [25] Aissaa, O., Moulahouma, S., Colak, I., Babesc, B., Kabacheaa, N., (2017). Design and real time implementation of three-phase three switchesthree levels Vienna rectifier based on intelligent controllers, *Applied Soft Computing*, **56**, 158-172.
- [26] Dang, C., Tong, X., Yin, J., Huang, J., Xu, Y. (2017). The neutral point-potential and current model predictive control method for Vienna rectifier, *Journal of the Franklin Institute*, **354**, 7605-7623.
- [27] Sundareswaran, K., Peddapati, S., Palani, S., (2014). MPPT of PV Systems Under Partial Shaded Conditions Through a Colony of Flashing Fireflies, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **29**, 2, 463-472.
- [28] Belkacem, R., Benzid, R., Bouguechal N. (2017). Multilevel inverter with optimal THD through the firefly algorithm, *Archives of Electrical Engineering*, **66**, 1, 141-154.
- [29] Demirdelen, T., (2018). Kuru Tip Transformatör Optimizasyonuna Yeni Bir Yaklaşım: Ateş Böceği Algoritması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **33**, 1, 87-96.
- [30] Merugumalla, M.K., Navuri, P.K. (2018). PSO and firefly algorithms based control of BLDC motor drive. *2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, 994-999.



Artificial Intelligence Helps Protect Smart Homes against Thieves

Zeydin Pala ^{1,*}, Orhan Özkan ²

¹ Muş Alparslan University Faculty of Architecture and Engineering,

Department of Computer Engineering, Muş, Turkey, <https://orcid.org/0000-0002-2642-7788>

² YYU, Institute of Science, Department of Artificial Intelligence and Robotics, Van, Turkey, <https://orcid.org/0000-0001-9502-8222>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 March 2020

Received in revised form 5 May 2020

Accepted 11 May 2020

Available online 30 September 2020

Keywords:

Artificial intelligence, machine learning, classification, smart home security, thefts

ABSTRACT

Interaction with the environments in which humans live is increasing more and more, and Artificial Intelligence (AI) offers significant contributions to this. Although the topic of smart homes has attracted a great deal of attention from researchers, the AI-based application in this area is still in its infancy. In this study, a home security automation system, which is quite simple, but smart and AI-based, is proposed. When the home-dwellers were not at home, the home lighting system tried to be managed with AI at night, as if life was still there. The AI-based smart home physical design was done using Arduino equipment and was tried to be adapted to the real-life environment with software support. As if there was someone at home, a special dataset, which was consisted of nine inputs, one output vector and about 5500 samples was created to turn on/off the home lights in a manner suitable for night life. The home lighting system was successfully managed using an AI-based system that learns nightlife lighting habits.

The proposed system performance was tested in support of commonly used machine learning classification algorithms such as Multi-layer perceptron (MLP), Linear support vector machine (L-SVM), Gaussian Naive Bayes (NB), and linear discriminant analysis (LDA). The accuracy values of MLP, L-SVM and NB algorithms were 96.69%, 94.98% and 91.23%, respectively. Our results show that a home with AI could be safer and more secure against theft.

Doi: 10.24012/dumf.700311

* Corresponding author

Zeydin, Pala

✉ z.pala@alparslan.edu.tr

Introduction

Homes where people spend majority of their lives have changed over the years with developing technology and emerging ideas and demands thereby resulting in the concept of smart homes. More specifically, smart homes are defined as homes that utilize computer technology for providing many conveniences that are not readily available in classical homes; or to facilitate routine tasks thereby improving the comfort levels of residents.

Homes that are remotely accessed by many people with features such as lamps, boilers, plugs, etc. that can also be turned on and off remotely are described as smart homes. Researchers describe such homes as smart homes which are sensitive to the needs of individuals and provide them with advanced solutions such as learning algorithms in order to automatically learn the behaviors of individuals in addition to controlling systems such as heating and lighting [1].

AI techniques such as artificial neural networks (ANN), multi-agent systems, statistical methods, data compression methods, and fuzzy logic are widely used in contemporary smart homes [2]. Artificial intelligence (AI) techniques can be used to automatically control lighting and heating systems in smart homes as well as to predict and automatically perform the next user action [3]. Smart homes comprise a popular subject with regard to academic work and many studies are conducted on this topic.

Homes provide control and greater comfort and quality of life than those in the past as they get smarter and smarter with the passing of time. However, it is still not possible to talk about homes that are completely safe with the smart home concept.

Today, because of pandemic diseases such as Covid-19, smart homes will become more and more smart and their importance to protect human health will be presented in the home environment. For example, issues such as disinfecting people entering the house, ventilating the house automatically from time to time, and keeping the oxygen rate of the house at desired values are the first features that come to mind.

Having many remotely operated features is not enough to prevent theft. Homeowners who go on holiday are generally discomforted due to thoughts on the possibility that their homes might be robbed any moment. This may turn into a nightmare.

Although the smart homes and its technologies are getting safer, there are always malicious persons whose aim are to cause harm to the smart home, steal significant thing without permission.

How can homes be safer when the residents are outside? Can AI help smart homes protect themselves against thieves during holidays? The answer to these questions are also the subject of this study. Statistics puts forth that homes which are robbed at night constitute a larger majority.

Life at home was evaluated in two different ways in this study which are namely day life and night life. The algorithms that model night life and day life are based on two different scenarios. The reason for working with such clearer expressions is to induce an impression by way of AI that the homeowners are not at home or on the contrary that daily life is still ongoing in the home as if all the residents are still there. A dynamic environment was presented in the study with home lights turned on and off depending on the normal life style for night life.

There are studies on the different uses of AI or machine learning (ML) algorithms for smart homes and for building automation in literature. However, no work has been found which provides protection against theft by using these algorithms on an automation application and by utilizing AI. It is considered that the study will provide significant contributions to the literature on the use of AI techniques against theft in smart homes.

This manuscript is designed as follows: In Chapter 2, related works are presented. In Chapter 3, the general structure and functioning of the system, dataset creation and background of the study are discussed. In section 4, our results are analyzed and comparisons of the other studies are presented. Conclusions and future work presented in Section 5.

Related work

There are many studies in the literature about AI and ML. However, we tried to compile some of those related to our work here. Gariba and

Pipaliya in [4] proposed a framework for a smart home energy management system with the applications of ML algorithms to mitigate energy consumption by modeling human behavior. In the study, they used the combination of Hidden Markov Model (HMM) and Naive Bayes (NB) classification algorithms.

In their work [5] Dixit and Naik used to model the movements of people living in a home and try to predict their next movements with the help of ML algorithms. In [6], they used ML and studied the use of sound to detect fall of elderly events.

In their work [7], the authors attempted to classify the movements of workers in a smart home with ML algorithms. ANNs have shown better performance than many algorithms used in the study.

The authors in [8] attempted to predict the behavior of people living in a smart home environment by using ML algorithms comparatively.

In [9], the authors introduced an activity-aware approach by using center for advanced studies in adaptive systems and anomaly detection algorithm to security monitoring and threat detection and take appropriate action in smart home environment.

The authors in [10] have been trying to identify activities that are specific to a particular location in a home environment by training supervised learning algorithms with Opportunity dataset. They used sensors to collect information about the location.

The authors in [11] compared the results of Convolutional neural networks (CNN), long short term memory (LSTM), Naive Bayes (NB), Hidden Markov models (HMM), Hidden Semi-Markov models (HSMM) and Conditional random fields (CRF) to predict activity in a smart environment. The authors stated in their main results that 1D-CNN and LSTM algorithms are similar but perform better than others. The authors in [20] used their own synthetic datasets consisting of 584 records and 6 properties in their work.

The authors [21] created their own synthetic datasets using the Emotiv Epoc BCI headset with 14 EEG channels. The recording process is 128 Hz. carried out by sampling.

In the literature, no study has been made to model the lighting system as if it were in real life against thefts, even though the actions of people based on ML in the home were attempted. This work in this way is originally contributing to the literature.

General architecture of the system

The main backbone of this study is based on hardware and software components. A special home prototype was designed to represent the life going on in a real home. Arduino mega and 8-channel relay was used among the hardware module components that control the home lights. On the software side, an AI module controlling the hardware module was developed and used. While Arduino mega is used to control the light system of the prototype home based on AI, the 8-channel relay was used to switch a load operating at high power or current with the electromagnetic field created by the low level current.

The smart home included in this study is comprised of a standard hall, three rooms, a kitchen and a bathroom-toilet. Certain parts of the home are lit up at certain times of the night and sometimes the lights of all rooms are left on for a certain time interval, which are turned off afterwards.

Lights are on or off at certain times in certain rooms of any regular home environment where people live.

At first, all light related tasks are recorded by the system during the night after which the dataset to be used for ML is generated.

It is more logical and realistic to turn on/off home lights in accordance with a scenario taken from real life rather than doing it randomly.

As shown in Figure 1, Arduino mega was used for home data collection in this study, whereas MySQL database was used for registering home data, C# programming language for managing the processes in general and the Python programming language for machine learning.

Python was selected for this study as one of the most suitable languages for data intelligence. Moreover it is more powerful, fast and easier to use when compared with languages such as C++, Java, Julia, R, and MATLAB even though they are used in data science. Furthermore, an open-source language is freely distributed.

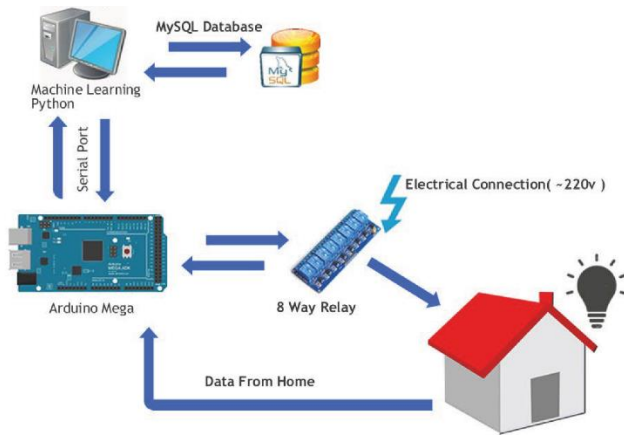


Figure 1. General system architecture

Creating dataset for machine learning in home automation

Data sets are required to train algorithms used in ML. After completing the hardware designs of the study, a dataset was created based on the habits of turning on/off the lights as if it was a regular home environment where normal life is still ongoing. Since there was no existing dataset for the smart home systems, the required data for the system under consideration was generated in accordance with the actual home life. The dataset was generated for the time period between 19:00 and 23:59 when the lights were generally on. It is assumed that the lights are off during the remaining time interval, except hall.

As shown in Table 1, information on lighting level in the home generated in accordance with real life are stored in the dataset under titles of hour (H), minute (M), salon (S), kitchen (K), nursery (N), living room (L), bedroom (B), bath-wc (B-WC), hallway (HW) and lighting level (LL).

Table 1. A sample dataset fragment with 8 samples showing classification based on lighting level

H	M	S	K	N	L	B	B-WC	HW	LL
19	50	0	0	1	0	0	0	0	1
20	32	1	1	0	0	0	0	0	2
20	52	1	1	0	0	0	0	0	2
22	22	1	0	0	1	1	1	1	3
22	43	0	0	0	1	1	1	1	3
22	59	1	1	1	1	1	1	0	4
23	22	1	1	1	1	1	1	1	4
01	50	0	0	0	0	0	0	0	1

The preparation of the dataset was done by modeling the lighting habits of a home

environment in which the students live. Once the dataset has been properly prepared, it has been used in training processes. The dataset using by the ML algorithms and successfully classifies the light conditions in case of the current system time. The output produced after this process is transmitted to the Arduino card via the serial port through the software. Thus, home lights can be successfully controlled via the AI module at specific time intervals when automation is required such as when there are no residents at home

Background

In this study, we used Scikit-learn which is one of the most popular frameworks used by python programming language for data acquisition and ML. It covers a wide range of algorithms for ML areas such as classification, clustering and regression.

The supervised learning method from among the six major learning methods widely used in ML was selected for use in this study.

A total of 5500 samples were generated in the home environment which were adapted to real life as well as to ML. The dataset used was 5500x10, n = 5500 samples, 9 features and a target. The dataset used here can express 9-input featured vectors and single output target vector in matrix form: $X \in R^{5500 \times 9}$. Here, the X feature vector can be represented in a two-dimensional structure or in other words a 2D matrix.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1n} & \dots & x_{9n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Similarly, the target vector of the single-output model can express in matrix form:

$$y = \begin{bmatrix} y_{11} \\ \vdots \\ y_{1n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

The main objective of the ML algorithms is to find the target function f and to match the input variables (X) to the output variables (y) using the best way: $y=f(X)$. Various ML classification algorithms such as k-nearest neighbors (k-NN) classifier, Gaussian Naive Bayes (NB), Linear support vector machine (L-SVM), Decision tree classifier (DT), Linear discriminant analysis (LDA), and multi-layer Perceptron (MLP) algorithms were used in the study [12].

Since the problem here is a classification problem, classification algorithms are used for the solution. Therefore, some of the classification algorithms used in ML and preferred in this study are briefly explained below.

k-nearest neighbors (k-NN)

The k-NN algorithm is a classification method in which the class with the sample data point and the nearest neighbors are determined according to k value [13, 14].

There, three different distance measurement methods were used in the k-NN algorithm for calculating the distance between two points. These were Euclidean distance, Manhattan distance and Chebyshev distance, respectively. In particular, Euclidean and Manhattan metrics were used extensively to measure the distance between predictor vectors [15].

The mathematical models of distance metrics used by the k-NN algorithm are as follows:

Euclidean distance between $x_i = [x_{i,1} \dots x_{i,n}]^T$ and $y_i = [y_{1,1} \dots y_{1,n}]^T$ is

$$d_{E(x_i, y_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}. \quad (3)$$

Where x_i is i th feature independent variable and y_i is the target dependent variable. The Manhattan distance between x_i and y_i is

$$d_{M(x_i, y_i)} = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^n)^{1/n}. \quad (4)$$

The Chebyshev distance is computed according to

$$d_{C(x_i, y_i)} = \max_i (|x_i - y_i|) \quad (5)$$

Linear Discriminant Analysis (LDA)

In the study, instead of Logistic regression, which is a simple yet powerful classification algorithm, Linear discriminant analysis (LDA) algorithm, which gives advantage by size reduction in pre-processing operations, is preferred. In this model, since the linear classifier is composed of the weight vector expressed as w and bias expressed as b , the target vector y can be calculated as follows:

$$y = \text{sign}(w^T x + b) \quad (6)$$

Classification is carried out in two steps. First, the sample space is mapped to a one-dimensional space on the weight vector w . Then a dot is defined on the line to separate the two classes.

Then LDA is used for the best values of w and b to separate the classes [16].

Naive Bayes (NB)

A Naive Bayes classifier based on Bayesian theorem and composed of more than one algorithm can be used to train a dataset with large number of inputs. Despite being simple, its performance is quite satisfactory. Bayes' theorem can be expressed mathematically as follows:

$$P(y|X) = \frac{P(X|y) * P(y)}{P(X)} \quad (7)$$

Where, y is class variable and X is a dependent feature vector of our dataset (of size $n=9$). $P(y|X)$ is the probability of hypothesis y given the data X . $P(X|y)$ is the probability of data X given that the hypothesis was true. $P(y)$ is the probability of hypothesis X being true (regardless of the data). $P(X)$ is the probability of data (regardless of the hypothesis).

Support vector machine (SVM)

The most popular algorithm in modern machine learning, as a supervised machine learning algorithm, Support vector machine (SVM) can be used for both classification and regression problems. However, it is mostly used in classification problems. Here, the vectors that define the hyperplane are called support vectors. SVM does not perform well on very large datasets and computation costs are high. However, it performs very well on normal sized datasets [17]. The Standard SVM uses a linear decision boundary to classify the objects given by $w^T X_{\text{new}} + b$. The SVM decision function for the X_{new} test point can be expressed as [18]:

$$y_{\text{new}} = \text{sign}(w^T X_{\text{new}} + b) \quad (8)$$

The LDA keeps the samples with the same class close but keeps the samples in the different classes away. For this process, on the one hand, the distance between the centers of different classes increases, while on the other hand the variance of each class decreases.

Multilayer perceptron (MLP)

One of the purposes of artificial intelligence is to make machines think like people who have extraordinary ability to learn new things. An

artificial neural network is a model based on the way the human brain works.

MLP is a fully connected and feed-forward artificial neural network (FFNN). The MLP consists of three layers: input, output and at least one hidden layer. Each layer which is composed of neurons and their connections, connected to adjacent layers. Intelligent neurons have the ability to calculate the sum of the weights of the inputs and give it to the final activation function [19].

Decisions Trees (DT)

As non-parametric, a supervised machine learning classification and regression algorithm, Decisions trees (DT) works in a split way and consists of a set of tree structure decision tests. The data in hand is continuously divided depending on a certain parameter. These algorithms usually operate as recursive processes. Since DT is simple to understand and to interpret, trees can be visualized. Given a training set X, the entropy of X is defined as [19]

$$Ent(X) = \sum_{y \in Y} P(y|X) \log P(y|X). \quad (9)$$

Results and discussion

All the classification algorithms used here have been tested using the Scikit-learn framework of the python programming language. In this study, a Windows 10 Pro based computer was used for all analyzes. The processor, memory and disk information of the computer are Intel i5 3.2 GHz, 8 GB RAM, 500 GB sata respectively. Accuracy of the proposed models can be calculated as,

$$Accuracy = \frac{N}{T} \times 100. \quad (10)$$

Here N and T are Number of lights correctly classified and Total number of lights respectively.

We will be confronted with a methodological error if the dataset used to train a model is also used for testing. This is called overfitting and may have a high success rate but it is not realistic. The main issue is to test the learning system with data that it has not yet come across and that is not within the scope of the training data. In general, a part of the dataset used for machine learning is used for training (i.e. 80%) and remaining is used for testing (i.e. 20%).

There is still an overfitting risk for datasets that are reserved for testing when different hyper parameters are applied to the system for the

estimators. The system performance becomes doubtful when some parameters are changed manually since the system learns the test data. A different portion of the dataset must be retained as a validation set for overcoming this. However, the data to be used for training is decreased when the dataset is separated into three parts. A procedure called cross-validation (CV) is used for preventing this issue. The validation set is no longer needed when CV is used. The dataset for training is divided into k small pieces called k-fold. The model is trained with k-1 training data and the remainder is used for validation.

When we take the k parameter for k-fold cross validation as n, the training dataset is divided into n parts for iteration of n. The n-1 fold is used for training while the remaining fold is used for testing purposes in order to evaluate system performance. The average estimated performance (e.g. classification accuracy or error) is calculated as follows.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (11)$$

The k-value has been accepted as 10 in the present application since the reasonable k-value in k-fold is taken as 10 for many applications.

Different distance metrics and different k values were used for the k-NN classifier algorithm in the Python environment for the dataset generated in the home environment by taking a k-fold value of 10. The best value for system performance in this case was 68.10% for Manhattan k = 25, 62.60% for Euclidean k = 16 and 45.20% for Chebyshev k = 13. As shown in Figure 2, the best overall performance values were obtained using the Manhattan metric. This is followed by Euclidean and Chebyshev metrics, respectively.

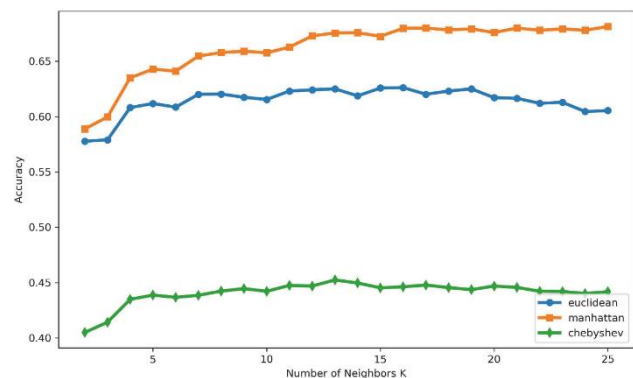


Figure 2. Comparison of k-NN metric accuracy vs k-value

Classification errors have been presented Figure 3 for the case where the k-NN algorithm was used with different metrics.

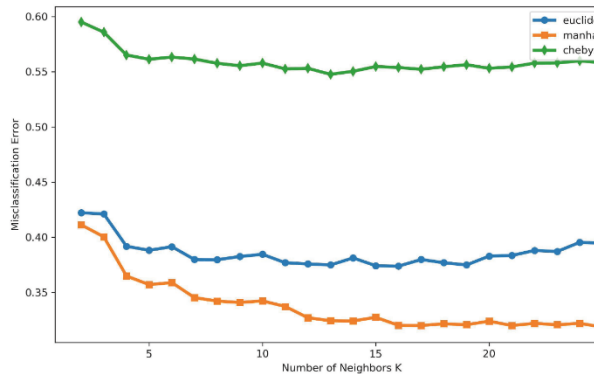


Figure 3. Comparison of k-NN metric error vs k-value

It appears that both the lowest success and the highest classification error for the values of 2 to 25 of k, the neighborhood value, occur when the Chebyshev metric is used. Besides, optimum error values for Euclidean, Manhattan and Chebyshev are obtained at k parameter values of 16, 25 and 13 respectively. The information in the case where more than one classification algorithm was used with different parameters has been shown in Table 2.

Table 2. Parameters of algorithms used for machine learning

Algorithms	Parameters	Values
MLP	activation	relu
	max_iter	600
	learning_rate	0.001
	hidden_layer_size	100
	solver	Sqd
L-SVM	kernel	linear
NB	Priors	None
LDA	Solver	Eigen
DT	max_depth	5
k-NN	n_neighbors	5

The performances for the six different classification algorithms used together have been given in Figure 4. The first three algorithms with the best performance are MLP with 96.69%, L-SVM with 94.98% and NB (91.23%). The lowest performance yields the k-NN algorithm with a value of 64.29%. Two other algorithms with moderate performance in classification are LDA and DT. Their performances were 87.54% and 74.18%, respectively. We believe that the dataset

has a high number of records, which negatively affects the performance of the k-NN algorithm.

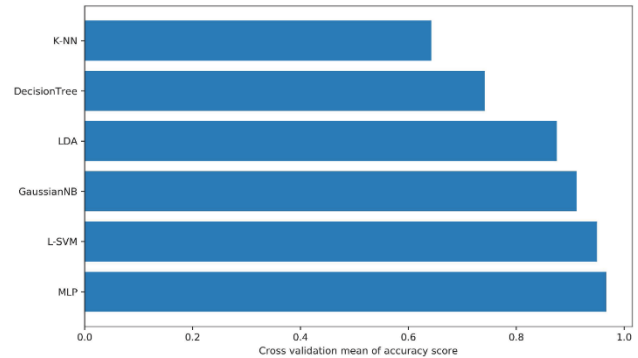


Figure 4. Comparison of machine learning classification algorithms using scikit-learn

Comparison of the other studies

Many studies have been carried out using classification algorithms. However, a comparison was made by taking into consideration various publications in which our algorithms were used. As was the case in [7], the best performance in this study was achieved with the MLP algorithm. As shown in Table 3, the classification performances obtained in our study are better in comparison with the results obtained from previous studies.

Table 3. Comparison of overall accuracy for classification

Reference paper	Dataset	Methodology and Classification Average
Cumin et al. [20]	Opportunity	MLP (90.21%) SVM (90.05%)
Vijayarani et al. [20]	synthetic kidney	NB (80.90%) SVM (80.0%)
Mazzoleni et al. [21]	Their own synthetic dataset	SVM (80.0%) DT (79.0%) NB (80.0%)
Taksi et al. [22]	UCI statlog	SVM-L (84.81%) SVM-Sigmoid (84.41%)
This study	This synthetic dataset	MLP (96.69%) L-SVM (94.98%) NB (91.23%) LDA (87.54%) DT (74.18%) NB (91.23%) k-NN (64.29%)

Conclusions and future work

In this study to begin with, intelligent home automation was established with Arduino-based

hardware and C# programming language-based software support. In the second place, a synthetic dataset, which was consisted of nine inputs, one output vector and about 5500 samples was created in accordance with real life. Moreover, system was trained with popular machine learning classification algorithms. To conclude, just like a home environment where real night life continued, the lights of the home was smartly managed to avoid thieves. Popular machine learning classification algorithms such as MLP, L-SVM, NB, DT k-NN were used to put forth the system success comparatively. In this study, MLP, L-SVM, and NB were similar but perform better than the others.

It is thought that homes protected by artificial intelligence will be safer, that the dataset quality will increase due to the data that will be acquired from a real home environment which in turn will yield more successful results.

Smart homes should be protected not only in the nights but also in the daytime. We would like to continue our work on this subject in future studies.

References

1. Benjamin K., Sovacool, Dylan D., Furszyfer DR. Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 120, 2020, pp.1-20.
2. Skn, H., Kalkan, H., Cetili, B. Classification of physical activities using accelerometer signals. In: *Signal Processing and Communications Applications Conference*, Mugla, Turkey, 2012, pp.1-4.
3. Gne, H., Orta, E., Akda, D. Developing synthetic data generation software for artificial intelligence techniques used in smart home systems. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 18(2):1-11, 2016.
4. Gariba, D., Pipaliya, B. Modelling human behaviour in smart home energy management systems via machine learning techniques. In: *Proceedings of 2016 International automatic control conference*, Taichung, Taiwan, 2016, pp. 53-58.
5. Dixit, A., Naik, A. Use of prediction algorithms in smart homes. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 4:157-162, 2014.
6. Collado-Villaverde, A., R-Moreno, MD., Barrero, DF., Rodriguez, D. Machine learning approach to detect falls on elderly people using sound. In: Benferhat S., Tabia K., Ali M. (eds) *Advances in Artificial Intelligence: From Theory to Practice*. IEA/AIE. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham, 2017, pp. 149-158.
7. Alshammari, T., Alshammari, N., Sedky, M., Howard, C. Evaluating machine learning techniques for activity classification in smart home environments. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Information and Communication Engineering*, 12 (2):58-64, 2018.
8. Alhafidh, BAH., Allen, WH. Comparison and Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for the Prediction of Human Actions in a Smart Home Environment. In: *Proceedings of the International Conference on Compute and Data Analysis*, New York, USA, 2017, pp. 54-59.
9. Dahmen, J., B. Thomas, DJ. Cook, X. Wang, Activity Learning as a Foundation for Security Monitoring in Smart Homes. *Sensors*, 17(4):pp. 1-17, 2017.
10. Cumin, J., Lefebvre, G., Ramparany, F., Crowley, FL. Human activity recognition using place-based decision fusion in smart homes. In: *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, Paris, France, 2017, pp.137-150.
11. Singh, D., Merdiva, E., Hanke, S., Kropf, J., Geist, M., Holzinger, A. Convolutional and recurrent neural networks for activity recognition in smart environment. In: *Towards integrative machine learning and knowledge extraction*, Banff, AB, Canada, 2015, pp.194-205.
12. Jebakumari, VS., Shanthi, D., Sridevi, S., Meha, P. Performance evaluation of various classification algorithms for the diagnosis of Parkinson's disease. In: *Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, Srivilliputhur, India, 2017, pp.1-7.
13. Cover, TM., Hart, PE. Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT13(1):2127, 1967.
14. Bhatia, N. Survey of nearest neighbor techniques. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 8(2):302-305, 2010.
15. Mohana, TK., Lalitha, V., Kusuma, L., Rahul, N., Mohan, M. Various Distance Metric Methods for Query Based Image Retrieval. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7(3):5818-5821, 2017.
16. Zhou, ZH. *Ensemble methods foundations and algorithms*, Boca Raton, FL, 2012.
17. Marshald, S. *Machine learning an algorithmic perspectives*, Boca Raton, FL, 2015.

18. Rogers, S., Girolami, M. A first course in machine learnings, Boca Raton, FL, 2012.
19. Sarkar, D., Bali, R., Sharma, T. Practical Machine Learning with Python, Bangalore, Karnataka, India, 2018.
20. Vijayarani, S., Dhayanand, S. Data mining classification algorithms for kidney disease prediction, International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI), 4(4):13-25, 2015.
21. Mazzolenia, M., Previdia, F., Bonfiglio, NS. Classification algorithms analysis for brain computer interface in drug craving therapy. Biomedical Signal Processing and Control 2017, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.01.011>.
22. Takci, H. Improvement of heart attack prediction by the feature selection methods, Turk J Elec Eng & Comp Sci,26:1-10, 2018.

Henry Gaz Çözünürlük Optimizasyonu ile Uçak Eğim Kontrol Sistemi için Etkin Kontrolör Tasarımı

Efficient Controller Design for Aircraft Pitch Control System Using Henry Gas Solubility Optimization

Veysi Kaçtı¹, Serdar Ekinci^{2*}, Davut İzci³

¹ Batman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, veysikacti@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-2244-3200>

² Batman Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Batman, serdar.ekinci@batman.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-7673-2553>

³ Batman Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Batman, davut.izci@batman.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-8359-0875>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 26 Mart 2020
Düzeltilme: 12 Mayıs 2020
Kabul: 1 Haziran 2020

Anahtar kelimeler:

Sezgisel-üstü algoritmalar, uçak eğim kontrol sistemi, PID kontrolör

ÖZET

Bu çalışma ile sezgisel-üstü algoritmalarından olan Henry gaz çözünürlük optimizasyonu (HGSO) kullanılarak oransal, integral ve türevsel (PID) bir kontrolöre ait parametreler bir uçağın alçalma/yükselme (eğim) açısına ait sistemin kontrolü için optimum olacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan bu yaklaşım literatürde ilk defa önerilmekte olup, sistemin performans analizi için istatistiksel test, geçici hal cevabı, kutup-sıfır haritası ve bode gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu analizler aynı zamanda literatürde son beş yıl içinde yayımlanmış ve oldukça etkili olduğu gösterilmiş olan sinüs kosinüs algoritması (SCA) ve çekirge optimizasyon algoritması (GOA) gibi diğer sezgisel-üstü algoritmalar ile ayarlanmış PID kontrolörler ile de kıyaslanmıştır. Karşılaştırmalar neticesinde, bu çalışma ile önerilen HGSO ayarlı PID kontrolörün uçak eğim açısı kontrol sistemi için diğer güncel ve etkili olan sezgisel-üstü algoritmalar ile ayarlanmış PID kontrolörlerine göre daha etkili olduğu ve iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.709449

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 March 2020
Revised: 12 May 2020
Accepted: 1 June 2020

Keywords:

Meta-heuristic algorithms,
Aircraft pitch control system,
PID controller

ABSTRACT

In this study, Henry gas solubility optimization (HGSO) algorithm has been proposed as a novel meta-heuristic algorithm to tune PID parameters optimally for an aircraft pitch control system. This is the first time ever that such an approach is being used since it has not been proposed in the literature previously. To evaluate the performance of the proposed approach several analyses have been carried out such as statistical test analysis, transient response analysis, pole-zero map analysis and bode analysis. Also, the effectiveness of the HGSO tuned PID controller was verified through comparisons with other recent and effective meta-heuristic algorithms based PID controllers such as sine-cosine algorithm (SCA) tuned and grasshopper optimization algorithm (GOA) tuned PID controllers. The comparisons have confirmed the effectiveness and superiority of the proposed HGSO tuned PID controller over other stated mechanisms for controlling the pitch angle of an aircraft.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Serdar EKİNCİ
✉ serdar.ekinci@batman.edu.tr

Giriş

Bir uçağın uçuş kontrol sisteminin amacı güvenli ve ekonomik bir operasyon sağlamaktır. Böylece, istenen uçuş görevleri beklenmedik olaylar altında bile gerçekleştirilebilir. Uçuşun başladığı ilk zamanlarda, bir uçuş kontrol sisteminin temel endişesi güvenliktir. Şuan için geline nokta uçuş sayısı ve seyahat için uçak kullanan kişi sayısı arttığı için güvenlik daha da önemli bir hal almaya başlamıştır [1].

Genel olarak bir uçak, kanatçık, dümen ve havalanma gibi kontrol yüzeylerini kontrol ederek üç boyutlu bir düzlemde uçar. Bu kontrol yüzeyleri uçağın yalpalanma, eğim ve sapma eksenlerindeki hareketini kontrol eder. Kaldırıcılar genellikle bir uçağın kuyruğuna yerleştirilir ve uçağın eğimini ve dalma açısını değiştirerek bir uçağın yönünü kontrol eder [1], [2].

Doğrusal olmayan, zamanla değişen ve belirsiz uçuş dinamikleri nedeniyle, uçuş kontrol sistemlerinin tasarımı karmaşıktır. Bu sebeple, belli uçuş koşulları baz alınarak uçak dinamiği doğrusal hale getirilip, lineer olmayan bu sistemler lineer kontrolörler ile kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Uçuş dinamiğinde doğrusal olmama ve belirsizlik gibi etkenlerden dolayı geleneksel kontrolörlerin kullanımı istenen performans ve kararlılığı sağlayamamaktadır. Bu yüzden geleneksel kontrolörleri kullanmak yerine H_∞ [3], temel radyal fonksiyonlu sinirsel [4], uyarmalı sinirsel [5], kendinden ayarlı bulanık PID [6], bulanık mantık [7] ve kayan kipli [8] gibi kontrolörler kullanılmaktadırlar.

Eğim (alçalma/yükselme) açısı, bir uçağın kalkışında ve inişinde önemli bir rol oynar. Son yıllarda, genetik algoritma [9], parçacık sürü optimizasyonu [2], [10], arı algoritması [11], yarasa algoritması [12] ve bakteriyel yemleme optimizasyonu [2] gibi birçok sezgisel-üstü optimizasyon tekniği bir uçağın alçalma/yükselme açısını kontrol etmek için kullanılmıştır.

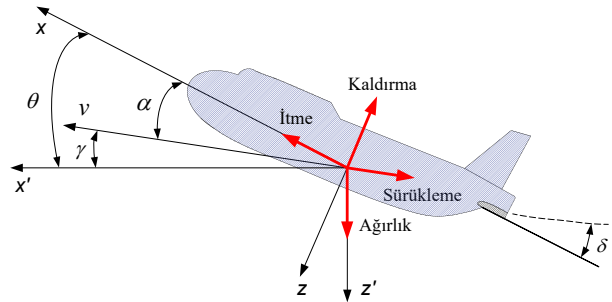
Henry gaz çözünürlüğü optimizasyonu (HGSO), Henry'nin sıvı ortamdaki gaz çözünürlüğü davranışını ifade etmek için ortaya koyduğu kanunu taklit ederek meydana getirilmiş fizik

tabanlı bir algoritma olup çeşitli test fonksiyonları ve üç adet de gerçek dünya optimizasyon problemi üzerinde başarıyla test edilmiştir [13]. Söz konusu bu algoritma aynı zamanda motif keşif problemi [14], otomobil fren bileşenlerinin optimum yapısal tasarımı [15] ve özellik seçimi [16] için de kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bir uçağın eğim açısının kontrolü için HGSO algoritması ile PID kontrolörün ayarlanmasına odaklanılmaktadır. Bu noktada belirtilmesinde fayda görülen husus; bu alanda bu çalışmaya benzer bir tarzda çalışmanın daha önce literatürde önerilmemiş olmasıdır. Bu sebeple söz konusu önerilen HGSO tabanlı PID kontrolörün etkinliğini gösterebilmek adına, güncel sezgisel-üstü algoritmalarından sinüs kosinüs algoritması (SCA) ve çekirge sürüsü optimizasyon algoritması (GOA) ayarlı PID kontrolörlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı analizler, alçalma/yükselme kontrol sisteminin kararlılığının HGSO algoritması sayesinde daha da iyileştirilebilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Alçalma/Yükselme Açısı: Sistem Modelleme

Bir uçağın hareketini düzenleyen denklemler, çok karmaşık yapıda altı adet doğrusal olmayan birleştirilmiş diferansiyel denklem setinden meydana gelmektedir. Bazı varsayımlar altında bu denklemler ayrıştırılabilir; uzunlamasına ve yanal denklemler olarak lineer hale de getirilebilir. Bir uçağın alçalma/yükselme açısı boyuna bir dinamiğe sahip olduğundan, söz konusu hareketler bu dinamikler ile kontrol edilmektedir. Bir uçağa etki eden temel kuvvetler ve koordinat eksenleri Şekil 1'de gösterilmiştir [17].



Şekil 1. Uçağa etkiyen temel kuvvetler
Figure 1. Basic forces acting on an aircraft

Sabit yükseklik ve hız ile seyir halinde olan bir uçağın itme, sürüklenme, ağırlık ve kaldırma kuvvetleri birbirlerini x ve y yönlerinde dengeler. Ayrıca, eğim açısındaki bir değişikliğin uçağın hızını değiştirmeyeceğini varsayarsak (gerçekte böyle bir durum söz konusu değildir ancak burada problemi biraz daha basitleştirmek adına böyle bir varsayımda bulunmaktadır), uçak için boyuna hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir [17].

$$\frac{d\alpha}{dt} = \mu\Omega\sigma[-(C_L + C_D)\alpha + \frac{1}{\mu - C_L}q - (C_M \sin\gamma)\theta + C_L] \quad (1)$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mu\Omega}{2i_{yy}} [[C_m - \eta(C_L + C_D)]\alpha + [C_M + \sigma C_M(1 - \mu C_L)]q + (\eta C_W \sin\gamma)\delta] \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega q \quad (3)$$

Bu denklemlerde C_T , C_D , C_L , C_W ve C_M sırasıyla itme, sürüklenme, taşıma, ağırlık ve moment sabitleridir. μ havanın yoğunluğuna bağlı ve Ω ise uçuş denge hızına bağlı sabitlerdir [17]. Yukarıda bahsi geçen sistemde giriş, havalanma sapma açısı δ ve çıkış, uçağın eğim açısı θ olacaktır. Yukarıda verilen denklemleri basitleştirmek adına bazı sayısal değerler ekleyerek transfer fonksiyonunu bulabiliriz [17].

$$\frac{d\alpha}{dt} = -0.313\alpha + 56.7q + 0.232\delta \quad (4)$$

$$\frac{dq}{dt} = -0.0139\alpha - 0.426q + 0.0203\delta \quad (5)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = 56.7q \quad (6)$$

Bu değerler Boeing'in ticari uçaklarından birinden elde edilen verilerden alınmıştır [18]. Yukarıdaki sistemin transfer fonksiyonunu bulmak için söz konusu denklemlerin Laplace dönüşümü alınmalıdır. Yukarıdaki denklemlerin Laplace dönüşümü aşağıda gösterilmektedir.

$$sA(s) = -0.313A(s) + 56.7Q(s) + 0.232\Delta(s) \quad (7)$$

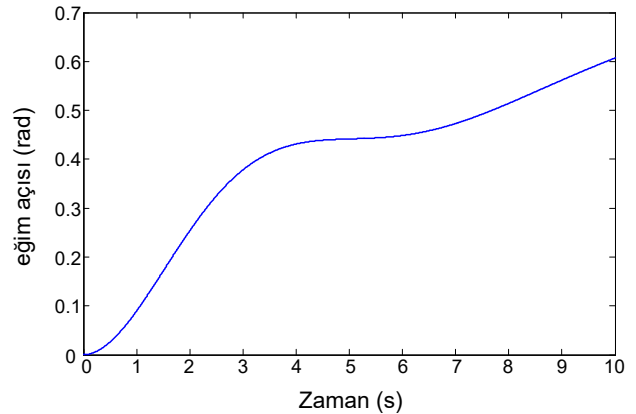
$$sQ(s) = -0.0139A(s) - 0.426Q(s) + 0.0203\Delta(s) \quad (8)$$

$$s\Theta(s) = 56.7Q(s) \quad (9)$$

Birkaç cebirsel işlemten sonra, aşağıdaki transfer fonksiyonu elde edilmektedir.

$$P(s) = \frac{\Theta(s)}{\Delta(s)} = \frac{1.151s + 0.1774}{s^3 + 0.739s^2 + 0.9215s} \quad (10)$$

Kontrolsüz bir açık çevrim sisteminin nasıl performans gösterdiğini görmek için MATLAB yazılımından faydalanılmıştır (Şekil 2). Burada havalanma sapma açısı (δ) 0.2 radyan (yaklaşık 11.46 derece) olacak şekilde girişi temsil alınmıştır. Açık çevrim cevabından anlaşılacağı üzere sistem kararsızdır ve sistemde etkili bir kontrolör kullanılmalıdır.



Şekil 2. Açık çevrim basamak cevabı
Figure 2. Open-loop step response

PID Kontrolör

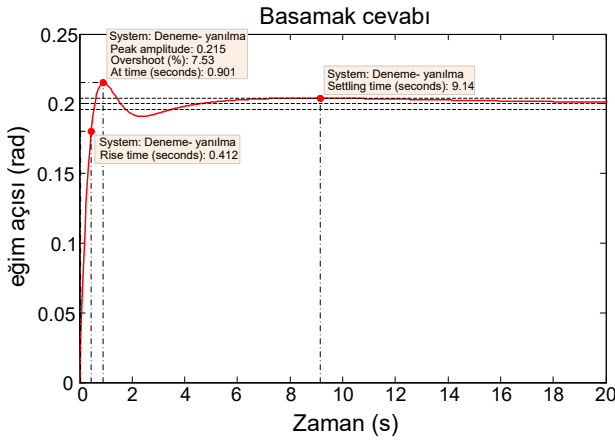
PID kontrolör, dinamik cevabı iyileştirmek ve sürekli hal hatasını azaltmak veya ortadan kaldırmak için kullanılır. Türevsel kontrolör, sistemin açık döngü transfer fonksiyonuna sonlu bir sıfır ekler ve geçici hal cevabını geliştirir. İntegral kontrolör ise başlangıç noktasına bir kutup ekler ve sürekli hal hatasını sıfıra indirir [19]. PID kontrolörün transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmektedir. Burada K_p , K_i and K_d sırası ile oransal, integral ve türevsel kazançları ifade etmektedirler.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (11)$$

Uçak alçalma/yükselme sistemini kararlı hale getirmek için geri-beslemeli bir PID kontrolör Şekil 3'te gösterildiği gibi eklenebilir. Kullanılan kontrol yapısını gösteren şekildeki sistem için birim geri-beslemeli kapalı çevrim transfer fonksiyonu eşitlik (12)'de verilmiştir. Kaynak [17]'de PID kontrolör parametreleri deneme-yanılma yoluyla $K_p = 5.1852$, $K_i = 1.74$ ve $K_d = 2.98$ olarak bulunmuştur. Bu parametreler kullanıldığında $\theta_{des} = 0.2 \text{ rad}$

$$T(s) = \frac{C(s)P(s)}{1 + C(s)P(s)} = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i)(1.151s + 0.1774)}{s(s^3 + 0.739s^2 + 0.9215s) + (K_d s^2 + K_p s + K_i)(1.151s + 0.1774)} \quad (12)$$

Şekilden açıkça anlaşılacağı gibi sistem cevabı tasarım kriterini (yüksek aşım ve uzun yerleşme zamanından dolayı) karşılamak için yetersizdir.



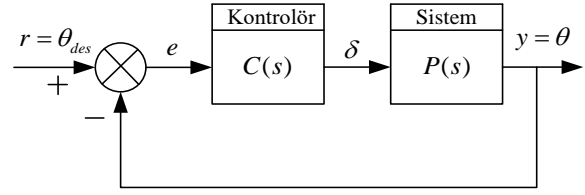
Şekil 4. Deneme-yanılma tekniği ile kapalı çevrim basamak cevabı
Figure 4. Closed-loop step response using trial and error technique

Genel olarak, optimal kontrolör parametrelerini deneme-yanılma, Ziegler-Nichols ve Cohen-Coon gibi geleneksel ayarlama teknikleri ile bulmak oldukça zordur ve uzun zaman almaktadır. Bu çalışmada, en iyi performans kontrolünü elde etmek için PID kontrolörün optimal parametrelerinin bulunmasında sezgisel-üstü algoritmalarından yararlanılmıştır.

Sinüs Kosinüs Algoritması

Sinüs kosinüs algoritması (SCA), yakın geçmişte önerilen popülasyon temelli sezgisel-üstü bir algoritmadır [20]. Bu algoritma, başlarken çoklu rastgele çözümler oluşturur. Oluşturulan bu çözümlerin daha sonra en iyi çözüme veya dışına doğru salınımlarını sağlar.

girişi için sistemin kapalı çevrim basamak cevabı Şekil 4'te gösterilmiştir.

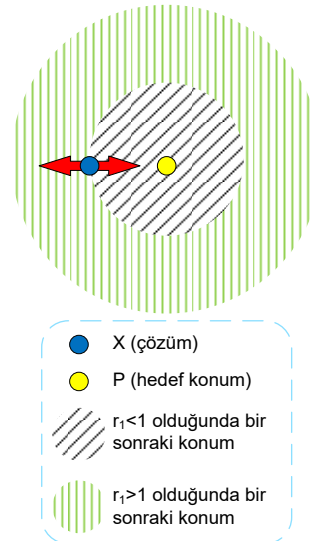


Şekil 3. PID kontrolöre sahip sistem
Figure 3. A PID controlled system

Buna ek olarak, arama alanının keşfini ve sömürülmesini vurgulamak için algoritmaya rastgele ve uyarlanabilir çeşitli değişkenler entegre edilmiştir. Keşif ve sömürü, popülasyon temelli optimizasyon sürecinin ve SCA'nın yaygın olarak kullanılan iki aşamasıdır. Her iki faz da aşağıdaki pozisyon güncelleme denklemleri ile ifade edilmektedir [20], [21].

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} X_i^t + r_1 \cdot \sin(r_2) \cdot |r_3 \cdot P_i^t - X_i^t|, r_4 < 0.5 \\ X_i^t + r_1 \cdot \cos(r_2) \cdot |r_3 \cdot P_i^t - X_i^t|, r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (13)$$

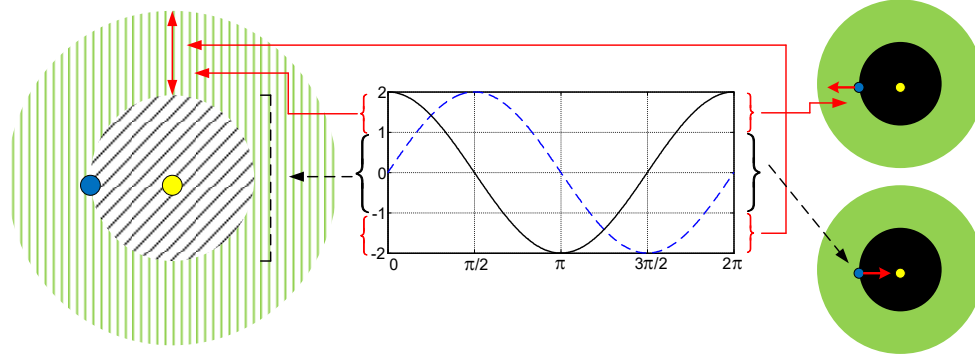
Burada, X_i^t mevcut çözümün i yinelemesinin t boyutundaki pozisyonunu, P_i^t , i yinelemesinin t boyutundaki hedef noktasının pozisyonunu ve $|\cdot|$ ise mutlak değeri ifade etmektedir.



Şekil 5. Eşitlik (13)'te verilen sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının bir sonraki pozisyona etkileri [20], [21]
Figure 5. Effects of sine-cosine functions in (13) on the next position [20], [21]

Eşitlik (13)'te sırası ile r_1 bir sonraki pozisyonun bölgesini $[-2, 2]$ aralığında, r_2 hareketin hedefe veya hedefin dışına doğru ne kadar uzak olması gerektiğini $[0, 2\pi]$ aralığında ve r_3 mesafeyi vurgulayan ($r_3 > 1$) veya mesafeyi azaltan ($r_3 < 1$) stokastik bir etkiye sahip varış yeri için rastgele bir ağırlık tanımlar. Yukarıdaki parametrelerden r_4 ise sinüsten kosinüse veya tam tersi şekilde eşit geçişi tanımlar ve $[0, 1]$ aralığına sahiptir. Eşitlik (13)'te sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının bir sonraki pozisyona etkileri Şekil 5'te gösterilmektedir [20], [21]. Şekilde gösterildiği

gibi, eşitlik (13) arama alanındaki iki çözüm arasında bir yer tanımlar. Çözümler, sinüs-kosinüs fonksiyonlarının genliğini değiştirerek karşılık gelen varış yerleri arasındaki alanın dışında arama yapabilir. Böylece, arama alanının keşfedilmesini garanti eder. Sinüs-kosinüs fonksiyonlarının periyodik modeli, bir çözümün başka bir çözüme yakın kaydırılmasını sağlayarak iki çözüm arasındaki alanın kullanılmasını garanti eder. Sinüs-kosinüs fonksiyonlarının $[-2, 2]$ aralığında etkileri Şekil 6'da gösterilmektedir [20], [21].



Şekil 6. Sinüs-kosinüs fonksiyonları $[-2, 2]$ aralığında bir çözümün hedefin ötesine (aralarındaki boşluğun dışına) veya çevresine (aralarındaki boşluğun içine) gitmesine izin verir [20], [21]

Figure 6. Sine-cosine functions within a range of $[-2, 2]$ letting a solution go beyond (outside the space among them) or around (inside the space among them) the destination [20], [21]

Algoritmada dengeli keşif ve sömürü aşamalarına ulaşmak için, eşitlik (13)'te sinüs-kosinüs fonksiyonlarının genliği aşağıdaki denklemle uyarlanabilir şekilde değiştirilir [20].

$$r_1 = a - t \frac{a}{T} \quad (14)$$

Burada t , mevcut yinelemedir, T ise toplam yineleme sayısıdır ve a , 2'ye eşit olan bir sabittir. Eşitlik (14)'te r_1 lineer bir biçimde a değerinden 0'a azalmaktadır.

Çekirge Optimizasyon Algoritması

Çekirge optimizasyon algoritması (GOA), yakın zamanda önerilmiş olan tek hedefli, popülasyon tabanlı sezgisel-üstü bir algoritma olup doğada bulunan çekirge sürülerinin davranışını taklit ederek optimizasyon problemlerinin çözülmesi

için oluşturulmuş matematiksel modeldir [22]. Algoritma çekirgeler arasındaki itme ve çekme kuvvetlerini simüle eder. İtme kuvvetleri çekirgelerin arama alanını keşfetmesine izin verirken, çekim kuvvetleri gelecek vaat eden bölgeleri sömürmeleri noktasında teşvikte bulunur. GOA, optimizasyon süresince keşif ve sömürü aşamalarını dengelemek için bir katsayı ile donatılmıştır. Bu sayede, yerel optimumda sıkışmanın önüne geçilip küresel optimumun kesin bir tahmininin bulunması kolaylaştırılmış olur. Mevcut duruma kadar elde edilmiş olan en iyi çözüm, sürü tarafından takip edilmesi gereken hedef olarak değerlendirildiğinden, çekirgelerin yinelemeler (iterasyonlar) boyunca hedefi iyileştirerek küresel optimumu bulma şansı yükselmektedir. GOA'nın konum güncelleme denklemi eşitlik (15)'te olduğu gibi verilir [22], [23].

$$X_i^d = r \left(\sum_{j=1}^N r \frac{ub_d - lb_d}{2} s(|x_j^d - x_i^d|) \frac{x_j - x_i}{d_{ij}} \right) + T_d \quad (15)$$

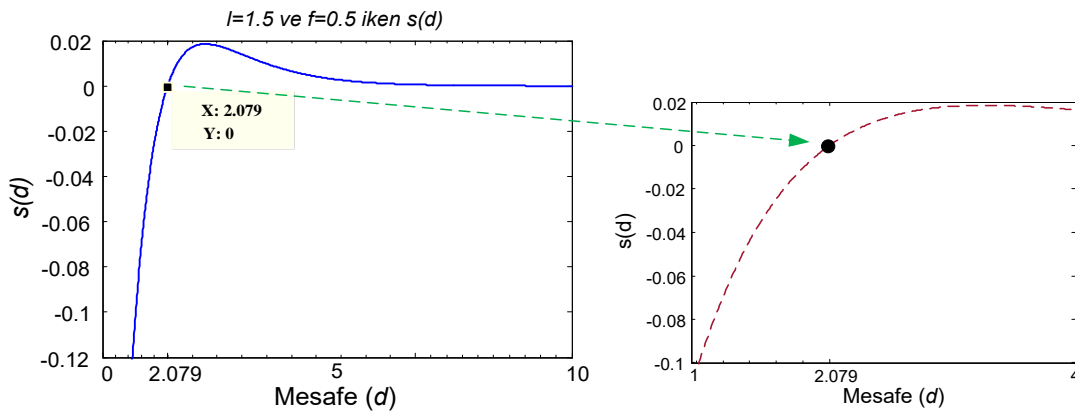
Burada, X_i^d mevcut çözümün d boyutundaki pozisyonunu, r azalma katsayısını, ub_d ve lb_d ise d boyutunun üst ve alt sınırlarını, s çekirgeler arası sosyal kuvvetin fonksiyonunu, d_{ij} iki çekirge arası mesafenin mutlak değerini (j . (x_j) ve i . (x_i) çekirgeler arası mesafe) ve son olarak T_d ise d boyutunda şimdiye kadar ulaşılan en iyi çözüm olan hedef değeri ifade etmektedir. Eşitlik (15), bir çekirgenin bir sonraki konumunun mevcut konumuna, diğer tüm çekirgelerin konumuna ve hedefin konumuna bağlı olduğunu gösterir. Eşitlik (15)'teki sosyal kuvvet fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmektedir [22], [23].

$$s = f e^{\frac{-d}{t}} - e^{-d} \quad (16)$$

Burada, f çekim gücünü ve l ilgili çekime ait uzunluk ölçeğinin ifadesidir. Çekirgeler arasındaki sosyal etkileşimi (çekim ve itme) göstermek için s fonksiyonu Şekil 7'de verilmiştir. Söz konusu şekilde 0 ile 10 arasındaki değerler dikkate alınmaktadır. İtme $[0, 2.079]$ aralığında gerçekleşmektedir. Bir

çekirge başka bir çekirgeden 2.079 birim uzakta olduğunda (konfor bölgesi veya rahat mesafe olarak adlandırılan mesafe), ne çekme ne de itme meydana gelmemektedir. Şekil 7 ayrıca çekim değerinin 2.079'dan yaklaşık 4'e kadar yükseldiğini ve sonra kademeli olarak azaldığını da göstermektedir. Eşitlik (16)'daki f ve l parametrelerini değiştirmenin yapay çekirgelerde farklı sosyal davranışlara neden olacağı açıktır ancak bu çalışmada söz konusu bu değerler sırası ile 0.5 ve 1.5 olarak alınmıştır [22], [23].

Bu fonksiyon 4'ten büyük mesafeler için 0'a yakın değerler verdiği için (Şekil 7'den de görüleceği üzere), çekirgeler arası mesafe $[1, 4]$ aralığında belirtilmiştir. Söz konusu s fonksiyonu Şekil 7'de (sağ taraf) gösterilmiştir. Çekirgeler ile konfor bölgesi arasındaki sosyal etkileşimlerin s fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş kavramsal modeli Şekil 8'de gösterilmektedir.



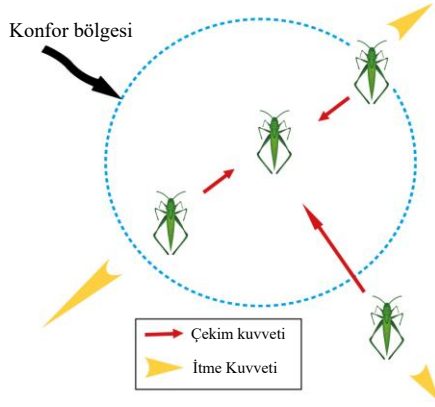
Şekil 7. Sosyal kuvvetler fonksiyonu $l = 1.5$ ve $f = 0.5$ değerlerinde olduğunda (solda) ve d $[1,4]$ aralığında iken bu fonksiyonun sahip olduğu aralık (sağda) [22], [23]

Figure 7. Social forces function s when $l = 1.5$ and $f = 0.5$ (Left), and its range when distance d is in a range of $[1, 4]$ (Right) [22], [23]

Eşitlik (15)'teki r parametresinin, keşif ve sömürüyü dengelemek için yineleme sayısı ile orantılı olarak azaltılması gerekmektedir. Bu durum, yineleme sayısı arttıkça sömürüyü teşvik eder. Bu parametre ayrıca konfor bölgesini yineleme sayısı ile orantılı olarak azaltır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [22], [23].

$$r = r_{max} - t \frac{r_{max} - r_{min}}{T} \quad (17)$$

Yukarıdaki denklemde, r_{max} maximum değeri, r_{min} minimum değeri, t şu anki iterasyonu ve T ise maximum iterasyon sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada r_{max} ve r_{min} için sırası ile 1 ve 0.00001 kullanılmıştır.



Şekil 8. Çekirge ve konfor bölgesi arasındaki sosyal etkileşimler [22], [23]
Figure 8. Social interactions between grasshoppers and the comfort zone [22], [23]

HGSO Algoritması

HGSO algoritması, 1800'lerde formüle edilen Henry kanununa dayanmaktadır. Söz konusu kanun ile gazların sıvı ortamdaki çözünürlüğü ifade edilmektedir. HGSO algoritması söz konusu bu fiziksel olayın matematiksel olarak taklit edilmesiyle oluşturulmuştur. Söz konusu matematiksel model 8 adımda ifade edilebilir [13].

İlk adımda, eşitlik (18) kullanılarak N adet gaz parçacığı üzerine rastgele bir arama başlatılır. Bu gaz parçacıkları aynı zamanda ilk popülasyonu da oluşturmaktadırlar [13].

$$X_i(t+1) = X_{min} + r \times (X_{max} - X_{min}) \quad (18)$$

t ve r terimleri, sırasıyla yineleme süresini ve rastgele bir sayıyı (0 ile 1 arasında) temsil eder. Arama alanının alt ve üst sınırları X_{min} ve X_{max} ile gösterilir. X_i , popülasyondaki i . gaz parçacığının konumunu temsil etmektedir. Henry gaz sabiti $j(H_j(t))$, gaz parçacıklarının sayısı i , gaz parçacıklarının kısmi basıncı $P_{i,j}$ (j kümesindeki i parçacığı) ile $j(C_j)$ sabit değeri eşitlik (19) kullanılarak başlatılmaktadır. İlgili denklemde l_1, l_2, l_3 sırası ile 5×10^{-2} , 100 ve 10^{-2} değerlerindedir [13].

$$\begin{aligned} X_{i,j}(t+1) &= X_{i,j}(t) + F \times r_1 \times \gamma \times (X_{i,best}(t) - X_{i,j}(t)) \\ &+ F \times r_2 \times \alpha \times (S_{i,j}(t) \times X_{best}(t) - X_{i,j}(t)), \end{aligned} \quad (22)$$

$$\gamma = \beta \times e^{\left(\frac{-F_{best}(t)+\varepsilon}{F_{i,j}(t)+\varepsilon}\right)}$$

$$\begin{aligned} H_j(t) &= l_1 \times rand(0,1) \\ P_{i,j} &= l_2 \times rand(0,1) \\ C_j &= l_3 \times rand(0,1) \end{aligned} \quad (19)$$

HGSO algoritması, farklı tiplerde gazları barındırdığından, ikinci aşaması kümeleme ile ilgilidir. Bu sebeple her popülasyon farklı gaz sabitine (H_j) sahip kümelere ayrılmaktadır.

Üçüncü adım, j kümesindeki i gaz partikülünü değerlendirmek için bir amaç fonksiyonun kullanıldığı değerlendirme sürecinden oluşur. Bu aşamada, tüm popülasyondaki (X_{best}) ve her kümedeki ($X_{i,j}$) en iyi partikülü tanımlamak için bir sıralama aşaması da gerçekleştirilir.

Dördüncü adım, Henry katsayısının eşitlik (20) kullanılarak güncellendiği aşamadır. Burada T sıcaklığı, H_j Henry katsayısını, $iter$ ise j . kümedeki toplam yineleme sayısını ifade etmektedir. T^θ ise 298.15'e eşit olan bir sabittir [13].

$$\begin{aligned} H_j(t+1) &= H_j(t) \\ &\times e^{(-C_j \times (1/T(t) - 1/T^\theta))}, \end{aligned} \quad (20)$$

$$T(t) = e^{(-t/iter)}$$

Çözünürlüğü güncelleme eşitlik (21) aracılığıyla beşinci adımda gerçekleştirilir. Burada $P_{i,j}$ kısmi basıncı, $S_{i,j}$ kümedeki parçacığın (j kümesindeki i parçacığının) çözünürlüğünü ve K ise bir sabiti ifade etmektedir [13].

$$S_{i,j}(t) = K \times H_j(t+1) \times P_{i,j}(t) \quad (21)$$

Altıncı aşamada, eşitlik (22) kullanılarak pozisyon güncellemesi yapılmaktadır. Burada, her bir j kümesindeki i parçacığının $X_{i,j}$ pozisyonu $t+1$ iterasyonu için güncellenmektedir. Söz konusu denklemde $\varepsilon = 0.05$ değerine eşittir [13].

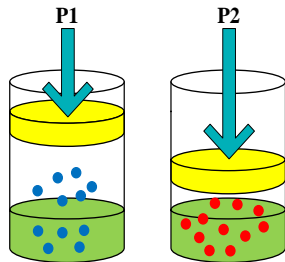
Yukarıdaki denklemde, $X_{i,best}$ kümedeki en iyi gazı, r_1 ve r_2 iki farklı rastgele sayıyı, γ gaz partikülünün (j kümesindeki i gaz partikülü) kabiliyetini, α diğer gaz partiküllerinin etkisini (j kümesindeki i gaz partikülü) ve β ise kullanıcı tarafından tanımlanan bir sabiti ifade etmektedir. j kümesindeki i gaz parçacığının uygunluğunu $F_{i,j}$, tüm popülasyonlardaki en iyi gaz partikülünü ise F_{best} ifade etmektedir. Aramanın yönü F işaretçisi ile kontrol edilmektedir. Tüm popülasyondaki en iyi gaz X_{best} ile ifade edilmektedir. Keşif ve sömürü kabiliyetleri $X_{i,best}$ ve X_{best} parametreleri ile sağlanmaktadır [13].

Yedinci basamak lokal minimumda takılı kalmamak için kullanılmaktadır. En kötü ajan sayısı N_w eşitlik (23)'e göre sıralanıp ve seçilir. Burada $c_1 = 0.1$ ve $c_2 = 0.2$ 'dir [13].

$$N_w = N \times (\text{rand}(c_2 - c_1) + c_1) \quad (23)$$

En son aşamada ise en kötü ajanların pozisyonu eşitlik (24) kullanılarak güncellenir. Burada, $G_{i,j}$ gaz parçacığının pozisyonunu, r rastgele bir sayıyı, G_{min} ve G_{max} ise problemin sınırlarını belirtmektedirler [13].

$$G_{i,j} = G_{\min(i,j)} + r \times (G_{\max(i,j)} - G_{\min(i,j)}) \quad (24)$$



Şekil 9. Henry gaz çözünürlüğü prensibi [13]
Figure 9. The principle of Henry gas solubility [13]

Şekil 9 Henry gaz çözünürlüğü prensibini canlandırmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere, dengedeki gazın hacmi, basınç arttırıldıkça azalmaktadır.

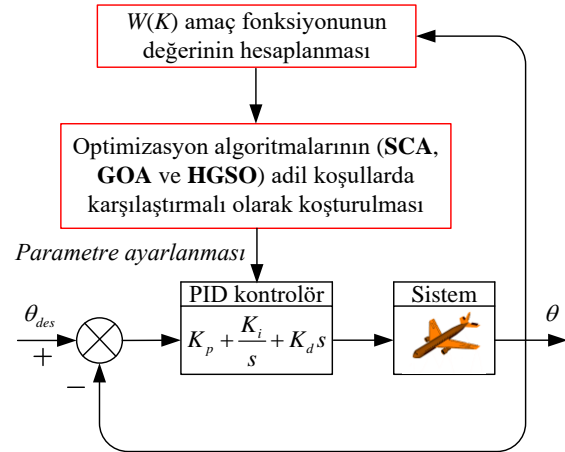
Amaç Fonksiyonu ve Önerilen Tasarım

PID parametrelerini ayarlamak için genel olarak “integrated absolute error (IAE)”, “integral of

squared-error (ISE)”, ve “integrated of time-weighted-squared-error (ITSE)” gibi çeşitli performans kriterleri amaç fonksiyonu olarak kullanılabilir [24]. Bununla birlikte, yukarıdaki performans kriterlerinin kendi dezavantajları da vardır [24]. Örneğin, IAE ve ISE'nin en aza indirilmesi uzun yerleşim süresine yol açabilir. ITSE performans kriteri IAE ve ISE kriterlerinin sahip olduğu dezavantajı elimine edebilir, ancak analitik formülün türetilme süreçleri karmaşık ve zaman alıcıdır [24]. Bu çalışmada kaynak [25]'te verilen kriter, amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Söz konusu bu kriter eşitlik (25)'te verilmiştir. Burada $K = [K_p, K_i, K_d]$, β ağırlık faktörü, M_p , E_{ss} , T_s ve T_r ise sırası ile maksimum aşım, sürekli hal hatası, yerleşme ve yükselme zamanlarıdır.

$$W(K) = (1 - e^{-\beta})(M_p + E_{ss}) + e^{-\beta}(T_s - T_r) \quad (25)$$

SCA, GOA ve HGSO tabanlı PID kontrolör ile ayarlanmış uçak alçalma/yükselme açısı kontrol sistemine ait blok diyagramı Şekil 10'da gösterilmektedir. Bu çalışmada; $\beta = 1$, PID kontrolör parametrelerinin alt sınırlarının 0.001 ve üst sınırlarının ise 100 alınması uygun görülmüştür.



Şekil 10. Önerilen yaklaşımın blok diyagramı
Figure 10. Block diagram of the proposed approach

Simülasyonlar ve Karşılaştırmalı Analizler

Son beş yıl içerisinde önerilen etkili sezgisel-üstü algoritmalar (SCA, GOA ve HGSO) çeşitli analizler vasıtasıyla detaylıca karşılaştırılmıştır.

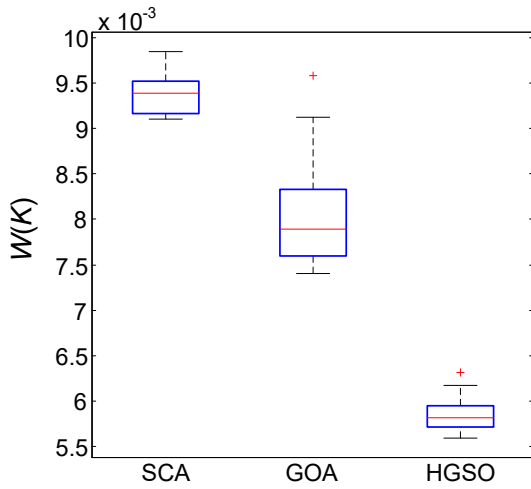
İstatistiksel Test Analizi

Uygun bir kıyaslama için her bir algoritmadaki maksimum iterasyon sayısı 100 ve sürü büyüklüğü ise 30 alınarak alçalma/yükselme kontrol sistemi optimize edilmiştir. Her bir algoritma 15 kere çalıştırıldıktan sonra elde

edilen $W(K)$ amaç fonksiyonunun istatistiksel sonuçları nümerik olarak Tablo 1'de listelenmiştir. Bahsi geçen $W(K)$ amaç fonksiyonunun istatistiksel kutu grafiği ise Şekil 11'de gösterilmiştir.

Tablo 1. $W(K)$ amaç fonksiyonunun istatistiksel değerleri
Table 1. Statistical values of $W(K)$ objective function

Algoritma	En iyi	En kötü	Ortalama	Standart sapma
SCA	0.0091	0.0098	0.0094	2.3515E-04
GOA	0.0074	0.0096	0.0081	6.3267E-04
HGSO	0.0056	0.0063	0.0059	2.0814E-04



Şekil 11. SCA, GOA ve HGSO algoritmalarına ait kutu grafikleri

Figure 11. Box plots of SCA, GOA and HGSO algorithms

Söz konusu tablo ve şekilden görüleceği üzere, $W(K)$ amaç fonksiyonunun minimize

edilmesinde HGSO algoritması en iyi istatistiksel performansı sergilemiştir. Çoklu çalıştırmalardan sonra her bir algoritmanın minimum $W(K)$ değerine karşılık gelen PID kontrolör parametreleri Tablo 2'de listelenmiştir.

Tablo 2. PID kontrolörün optimize edilen parametreleri

Table 2. The optimized parameters of PID controller

Kontrolör Türü	K_p	K_i	K_d
SCA ayarlı PID	70.8938	64.8932	72.4551
GOA ayarlı PID	63.8156	21.5434	77.6758
HGSO ayarlı PID	69.7726	3.6054	95.1465

Tablodaki parametreler kullanıldığında SCA, GOA ve HGSO ayarlı PID kontrolör içeren sistemlerin kapalı çevrim transfer fonksiyonları sırasıyla (26) – (28) eşitlikleri ile verilmiştir.

$$T_{SCA}(s) = \frac{83.4s^3 + 94.45s^2 + 87.27s + 11.51}{s^4 + 84.14s^3 + 95.38s^2 + 87.27s + 11.51} \quad (26)$$

$$T_{GOA}(s) = \frac{89.41s^3 + 87.23s^2 + 36.12s + 3.822}{s^4 + 90.14s^3 + 88.16s^2 + 36.12s + 3.822} \quad (27)$$

$$T_{HGSO}(s) = \frac{109.5s^3 + 97.19s^2 + 16.53s + 0.6397}{s^4 + 110.3s^3 + 98.11s^2 + 16.53s + 0.6397} \quad (28)$$

Geçici Hal Cevap Analizi

Farklı yaklaşımlar kullanılarak tasarlanan alçalma/yükselme açısı kontrol sistemine ait basamak cevapları ($\theta_{des} = 0.2 \text{ rad}$ girişi için)

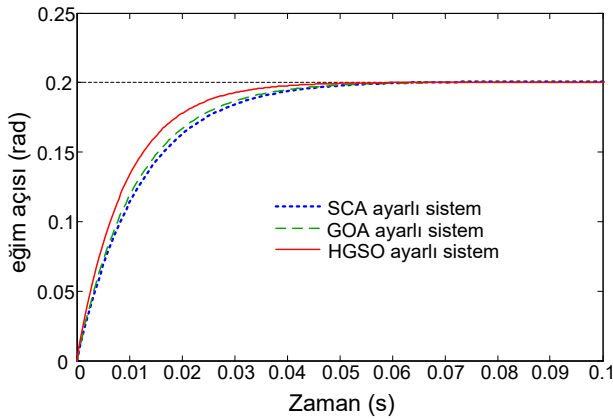
Şekil 12 ile verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere HGSO ayarlı PID kontrolör ilaveli sistem daha iyi zaman cevabına sahiptir. Bu çalışmada basamak girişinin geçici hal cevabının karakterizasyonu için tepe değeri, maksimum

yüzelik aşım, yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve tepe zamanı gibi parametreler performans ölçütü olarak kullanılmıştır. Performans ölçütleri açısından karşılaştırmalı

geçici hal cevabı sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Tablodaki değerlere bakıldığında en iyi (minimum) sonuçlar HGSO ayarlı PID kontrolör ile tasarlanan sisteme aittir.

Tablo 3. Geçici hal cevap analizi sonuçları
Table 3. Results of transient response analysis

Kontrolör Türü	Tepe Değeri (rad)	Aşım (%)	Yükselme Zamanı (s)	Yerleşme Zamanı (s)	Tepe Zamanı (s)
SCA ayarlı PID	0.2007	0.3464	0.0260	0.0447	0.0827
GOA ayarlı PID	0.2002	0.1158	0.0244	0.0426	0.0770
HGSO ayarlı PID	0.2000	0.0000	0.0200	0.0352	0.0627

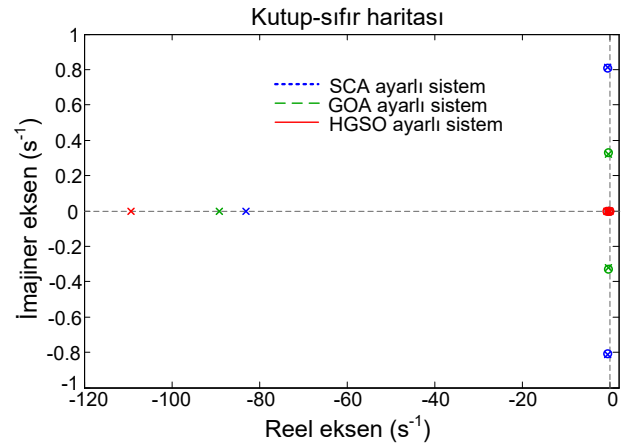


Şekil 12. Alçalma/yükselme (eğim) açısının değişim eğrileri

Figure 12. Changes of pitch angle curves

Kutup-sıfır Haritası Analizi

Kutup-sıfır haritası analizi, kapalı çevrim kutuplarının yerini ve karşılık gelen sönüm oranlarını verir. Aynı zamanda bir sistemin kararlılık özelliklerini de tanımlamaya yarar. Farklı algoritmalarla tasarlanan sistemlerin kutup-sıfır haritası çizimleri Şekil 13'te gösterilmiştir. Kapalı çevrim kutuplarının nümerik sonuçları ve ilgili sönüm oranları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, HGSO algoritması tarafından ayarlanan sistemin hiçbir karmaşık eşlenik kutup çiftine sahip olmadığı ve SCA ile GOA algoritmaları tarafından ayarlanan sistemlere nazaran en büyük sönüm oranına sahip olduğu fark edilmektedir.



Şekil 13. Kutup-sıfır haritası çizimleri
Figure 13. Pole-zero map plots

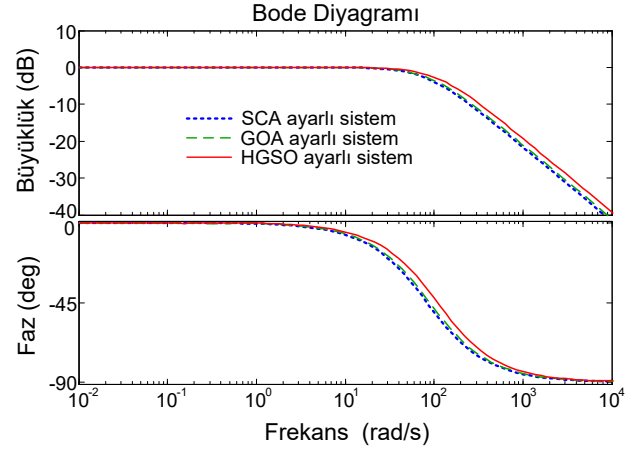
Tablo 4. Kapalı çevrim kutupları ve sönüm oranları

Table 4. Closed loop poles and damping ratios

Kontrolör Türü	Kapalı Çevrim Kutupları	Sönüm Oranları
SCA ayarlı PID	-0.1545	1
	$-0.4910 + 0.8106i$	0.5181
	$-0.4910 - 0.8106i$	0.5181
GOA ayarlı PID	-82.9991	1
	-0.1554	1
	$-0.4144 + 0.3226i$	0.7890
	$-0.4144 - 0.3226i$	0.7890
HGSO ayarlı PID	-89.1604	1
	-0.0564	1
	-0.1507	1
	-0.6887	1
	-109.3578	1

Bode Analizi

Bode analizi, kontrol sisteminin frekans cevabı hakkında bilgi verir [19]. Bu analizden elde edilen büyüklük (magnitude) ve faz grafikleri Şekil 14'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu grafikten hesaplanan kazanç payları, faz payları ve bant genişlikleri de Tablo 5'te gösterilmektedir. Sonuç olarak, en iyi frekans cevabının HGSO algoritması tarafından ayarlanan sisteme ait olduğu söylenebilir.



Şekil 14. Bode diyagramları

Figure 14. Bode diagrams

Tablo 5. Frekans cevabı analizi sonuçları
Table 5. Results of the frequency response analysis

Kontrolör Türü	Kazanç Payı	Faz Payı	Bant Genişliği
SCA ayarlı PID	∞ dB	174.4418°	83.5953 Hz
GOA ayarlı PID	∞ dB	175.9787°	89.4385 Hz
HGSO ayarlı PID	∞ dB	177.3049°	109.4116 Hz

Sonuçlar

Bu çalışma ile bir uçağın havada güvenli bir seyir halinde olması için önem arz eden parametrelerden olan alçalma/yükselme (eğim) açısının kontrol edilmesi için yeni bir algoritma tabanlı kontrol mekanizması önerilmiştir. Dinamik sistemlerin kontrolünde sıklıkla kullanılan PID kontrolörün daha etkin bir işlev sergileyebilmesi için sezgisel-üstü algoritmalarından olan HGSO kullanılarak sistemin optimum kontrol parametrelerine sahip olması sağlanmıştır. Söz konusu önerilen HGSO tabanlı PID kontrolör ilaveli sistemin performans kabiliyetini ve diğer sistemlere göre üstünlüğünü gösterebilmek için, son beş yıl içerisinde önerilmiş ve etkinliği gösterilmiş olan SCA ve GOA algoritmaları vasıtasıyla ayarlanmış PID kontrolöre sahip sistemler ile karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler neticesinde, bu çalışma ile önerilen HGSO tabanlı yaklaşımın söz konusu eğim açısının kontrolü için SCA ve GOA ile ayarlanan yaklaşımlardan daha etkin olduğu gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Y. Işık and H. Korul, "Comparison of classical PD and fuzzy PD controller performances of an aircraft pitch angle control system," *Gazi University Journal of Science*, vol. 24, no. 4. Gazi University, pp. 781–789, 2011.
- [2] C. S. Mohanty, P. S. Khuntia, and D. Mitra, "Design of stable nonlinear pitch control system for a jet aircraft by using artificial intelligence," *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. A - Phys. Sci.*, vol. 89, no. 1, pp. 57–66, 2019, doi: 10.1007/s40010-017-0396-z.
- [3] R. A. Nichols, R. A. Nichols, R. T. Reichert, and W. J. Rugh, "Gain scheduling for H-Infinity controllers: A flight control example," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 69–79, 1993, doi: 10.1109/87.238400.
- [4] P.S. Khuntia and D. Mitra, "Radial basic function neural controller for pitch control of an aircraft," *Georg. Electron. Sci. J. Comput. Sci. Telecommun.*, no. 2, pp. 69–82, 2009.
- [5] M. Vijaya Kumar, S. Suresh, S. N. Omkar, R. Ganguli, and P. Sampath, "A direct adaptive neural command controller design for an unstable helicopter," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 22, no. 2, pp. 181–191, 2009, doi: 10.1016/j.engappai.2008.07.004.
- [6] N. Wahid and N. Hassan, "Self-tuning fuzzy PID controller design for aircraft pitch control," in

Proceedings - 3rd International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, ISMS 2012, 2012, pp. 19–24, doi: 10.1109/ISMS.2012.27.

- [7] E. Sayar and H. M. Ertunç, “Fuzzy logic controller and PID controller design for aircraft pitch control,” in *Mechanisms and Machine Science*, 2019, vol. 59, pp. 53–60, doi: 10.1007/978-3-319-98020-1_7.
- [8] A. Khalid, K. Zeb, and A. Haider, “Conventional PID, adaptive PID, and sliding mode controllers design for aircraft pitch control,” in *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2019*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/CEET1.2019.8711871.
- [9] G. Altıntaş and Y. Aydin, “Comparison of fractional and integer order PID controllers on aircraft model using genetic algorithm,” in *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, 2016, pp. 242–246.
- [10] A. Chowdhury and V. G. Nair, “Optimization of PID controller gains of an aircraft pitch control system using particle swarm optimization algorithm,” *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.*, vol. 7, no. 6, pp. 223–229, Dec. 2017, doi: 10.24247/ijmperddcc201724.
- [11] R. Zaeri, A. Ghanbarzadeh, B. Attaran, and Z. Zaeri, “Fuzzy logic controller based pitch control of aircraft tuned with bees algorithm,” in *Proceedings - 2011 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation, ICCIA 2011*, 2011, pp. 705–710, doi: 10.1109/ICCIAutom.2011.6356745.
- [12] P. Kumar and S. Narayan, “Multi-objective bat algorithm tuned optimal FOPID controller for robust aircraft pitch control,” *Int. J. Syst. Control Commun.*, vol. 8, no. 4, pp. 348–362, Jan. 2017, doi: 10.1504/IJSCC.2017.087127.
- [13] F. A. Hashim, E. H. Houssein, M. S. Mabrouk, W. Al-Atabany, and S. Mirjalili, “Henry gas solubility optimization: A novel physics-based algorithm,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 101, pp. 646–667, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.future.2019.07.015.
- [14] F. A. Hashim, E. H. Houssein, K. Hussain, M. S. Mabrouk, and W. Al-Atabany, “A modified Henry gas solubility optimization for solving motif discovery problem,” *Neural Comput. Appl.*, 2019, doi: 10.1007/s00521-019-04611-0.
- [15] B. S. Yıldız, A. R. Yıldız, N. Pholdee, S. Bureerat, S. M. Sait, and V. Patel, “The Henry gas solubility optimization algorithm for optimum structural design of automobile brake components,” *Mater. Test.*, vol. 62, no. 3, pp. 261–264, Mar. 2020, doi: 10.3139/120.111479.
- [16] N. Neggaz, E. H. Houssein, and K. Hussain, “An efficient Henry gas solubility optimization for feature selection,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 152, p. 113364, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113364.
- [17] “Control Tutorials for MATLAB and Simulink - Aircraft Pitch: System Modeling,” *Published with MATLAB® 7.14*, 2012. [Online]. Available: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch§ion=SystemModeling>. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [18] A. Johari *et al.*, “Improvement of pitch motion control of an aircraft systems,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 16, no. 5, pp. 2263–2274, Oct. 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i5.7434.
- [19] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 4th Ed. Prentice-Hall, 2002.
- [20] S. Mirjalili, “SCA: A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 96, pp. 120–133, 2016, doi: 10.1016/j.knsys.2015.12.022.
- [21] S. Ekinici, “Optimal design of power system stabilizer using sine cosine algorithm,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 34, no. 3. Gazi Üniversitesi, pp. 1329–1350, 2019, doi: 10.17341/gazimmfd.460529.
- [22] S. Saremi, S. Mirjalili, and A. Lewis, “Grasshopper optimisation algorithm: Theory and application,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 105, pp. 30–47, 2017, doi: 10.1016/j.advengsoft.2017.01.004.
- [23] B. Hekimoğlu and S. Ekinici, “Grasshopper optimization algorithm for automatic voltage regulator system,” in *2018 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ICEEE 2018*, 2018, pp. 152–156, doi: 10.1109/ICEEE2.2018.8391320.
- [24] B. Hekimoğlu, “Sine-cosine algorithm-based optimization for automatic voltage regulator system,” *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 41, no. 6, pp. 1761–1771, 2019, doi: 10.1177/0142331218811453.
- [25] Z. L. Gaing, “A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 2, pp. 384–391, 2004, doi: 10.1109/TEC.2003.821821.

Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile İş Değerlemesi

Fuzzy SWARA and Fuzzy Analytic Hierarchy Process Application In Job Evaluation Process

Deniz ŞENGÜL^{*1}, Gültekin ÇAĞIL²

¹ Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, denizsengul20@gmail.com

² Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, cagil@sakarya.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 6 Nisan 2020
Revizyon: 10 Eylül 2020
Kabul: 17 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

İş değerlendirme, Bulanık SWARA, Bulanık AHP

ÖZET

İş değerlendirme, bir kuruluştaki bir işin görelî değerini sistematik olarak belirleme sürecidir. İşletmede yapılmakta olan tüm işlerin değerleri belirlenerek adil ve güvenilir bir ücret sisteminin kurulması amaçlanır. Ücret yönetimi, işletmelerin üretimini ve üretkenliğini artıran önemli bir araç olmasının yanında çalışanı işletmeye bağlayan ekonomik bir teşvik yöntemidir. Hem işletmeleri hem de personeli yakından ilgilendiren ücret sisteminin doğru şekilde kurulması, işletmedeki iş değerlendirme çalışmasının ne kadar efektif kullanıldığına bağlıdır. İş değerlendirme çalışmasında işlerin görelî değerleri, işletme içinde yürütülen tüm işler için belirli faktörler ışığında önem dereceleri açısından karşılaştırılarak belirlenir. Önem derecesi en fazla çıkan iş diğer anlamda işletme amaçlarının gerçekleştirilmesine en fazla katkıyı sağlayan iş diğer işlerden daha önemli kabul edilir ve daha fazla ücretle çalışmasının uygun olduğu kabul edilir. İş değerlendirme çalışması ısıtma ve soğutma sektöründe uzun yıllardır faaliyet göstermekte olan bir işletmede uygulanmıştır. İşletmede yeni kurulacak montaj hattında görev alacak üç görev tanımlı örneklem grubu seçilerek iş değerlendirme çalışması uygulanmıştır. Uygulamada kullanılacak kriterler iş değerlendirme metodu ile belirlenmiş ve kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılması Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile sağlanmıştır. Böylelikle personeller sadece yaptıkları işin dikkate alındığı ve bilimsel verilere dayanan iş değerlendirme çalışması sonuçlarına göre oluşturulan ücret skalalarına yerleştirilecek; doğru işe doğru ücret politikası hayata geçirilecektir.

Doi: 10.24012/dumf.715363

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 April 2020
Revised: 10 September 2020
Accepted: 17 September 2020

Keywords:

Job evaluation, Fuzzy SWARA, Fuzzy AHP

ABSTRACT

Job evaluation is the process of systematically determining the relative value of jobs in an organization. It's aimed to establish a fair and reliable wage system by determining the values of the works. Wage management is an important tool that increases productivity of businesses, as well as an economic incentive method that connects the employee to the business. The correct establishment of the wage system depends on how effectively the job valuation in the enterprise is used. The relative values of the works are determined by comparing them in terms of their importance by using certain factors. The job with the highest degree of importance is considered to be more important than other jobs and it is considered appropriate to work with higher wages. Job valuation has been applied in a company that has been operating in the climating sector for many years. This study was applied by selecting three job definition sample groups to take part in the assembly line in the enterprise. These criterias were determined by job evaluation and the comparison of these criterias with each other was provided by Fuzzy SWARA and Fuzzy AHP. Thus, the staff will be placed on the wage scales created according to the results of the job valuation based on scientific data, the right wage policy for the right job will be implemented.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Deniz ŞENGÜL
✉ denizsengul20@gmail.com

Giriş

İşletmelerde istihdam edilmekte olan işgücünün verimli şekilde çalışabilmesi güçlü ve adil bir ücret sistemi ile yönetilmelerine bağlıdır. Ücret yönetimi personellerin performanslarına direkt etki eden önemli bir unsurdur. İşletmeler doğru ücret politikalarını oluşturabilmek için çeşitli uğraşlar vermektedirler. Doğru ücret sisteminin kurulmasının temel taşlarından biri işletmede yapılan işlerin doğru tanımlanmasından geçmektedir. Bu sebeple işletmede öncelikle iş analizinin doğru yapılmış olması gerekmektedir. Yapılan iş analizlerinin ücret sistemine entegre edilmesi ise iş değerlendirme sisteminin doğru şekilde çalıştırılması ile mümkün olmaktadır.

İş değerlemenin amacı, işletmedeki her işin birbirleri ile kıyas edilerek, yapılan tüm işler arasındaki önemini belirlemektir. Böylece bir işin işletmedeki diğer işler arasında ne kadar önemli olduğu sonucu ortaya çıkacak ve ücret skalaları da bu önem dereceleri göz önünde bulundurularak doğru ve adil şekilde oluşturulabilecektir.

İşletmelerde en önemli unsur olan ücret sisteminin herkes tarafından kabul görmüş olarak güvenilir, objektif ve bilimsel standartlara uygun şekilde yapılmasını sağlayan bir yöntem olduğunu söyleyen Ergül [1], uygulamanın ne kadar önemli ve hassas olduğuna dikkat çekmektedir.

İş değerlendirmede kullanılan yöntemler nicel ve nitel yöntemler olarak iki ayrı kolda incelenir. Nitel yöntemlerden ilki olan sıralama yönteminde; iş değerlemesi yapılacak olan işi, işletme içindeki yapılan tüm işlerle karşılaştırarak değerlendirme yapmaktadır. Bu yöntemde dört faktör göz önüne alınır. Kurgun ve Yemişçi [2] çalışmalarında bu dört faktörü iş değerlendirme çalışması yapılacak olan bölümün yapısal büyüklüğü, yapılan işlerdeki sorumluluk ve karmaşıklıklar, gerekli hüner ve nitelik olarak belirtmişlerdir.

İkinci sırada bulunan sınıflandırma yönteminde Acar [3], işlerin daha önceden belirlenmiş sınıflar dahilinde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu yöntemde ilk olarak sınıflar ve iş gruplarına karar verilir. İşlerin tanımları, ilgili işin ait olduğu sınıf tanımları ile karşılaştırılarak, işlerin hangi sınıfa ait olduğunu belirler.

Değerlendirmelerin tarafsız olmasını sağlayan, değerlendirilecek işlerin ve işçi sayılarının fazla olduğu durumlarda tercih sebebi olan nicel yöntemlerden birincisi faktör karşılaştırma yönteminde, değerlendirme sonuçlarını ifade ederken sayısal veriler kullanır. Bu metotta dört faktör kullanılır. Akyıldız [4], bunlardan ilki beceri, ikincisi zihinsel ve bedensel çaba, üçüncüsü sorumluluk ve dördüncüsü iş koşulları olmak üzere 4 grupta ele almıştır. Başlangıçta diğer işleri de temsil edebilecek kritik işler seçilir, dört faktör üzerinden analizi yapılır. Sonraki aşamada diğer işlerle, seçilen kritik işler karşılaştırılarak ücret skalasındaki yerleri ve ücretleri belirlenir.

Acar [3] çalışmasında; nicel yöntemlerin ikinci sırasında bulunan puan yönteminin ayrıntılı incelemeye dayanması ve nicel değerlendirmelere daha fazla olanak vermesi, sade ve anlaşılır olması sebebiyle en çok tercih edilen yöntem olduğunu belirtmiştir. Bu yöntemde ana faktörler bilgi-beceri, sorumluluk, çaba ve iş koşulları şeklinde gruplandırılır. Ana faktörler çoğunlukla benzer olup farklılıklar alt faktörlere göre değişmektedir.

Metal Sanayicileri Sendikası (MESS) [5], üniversite-sanayi iş birliği çerçevesinde Metal sanayi sektöründe yaptığı çalışmada, puan yöntemini kullanarak 395 görev tanımını iş değerlendirme çalışması kapsamında değerlendirmiştir. Yapılan bu çalışma Türkiye’de yapılan pek çok iş değerlendirme çalışmasında referans olarak alınmıştır.

Literatürde iş değerlendirme ile ilgili çalışmalar da yer almaktadır. Kahya [6], metal sanayiinde uygulamaya aldığı çalışmada puan yöntemini kullanmıştır. Yaptığı çalışmada 41 görev tanımını iş değerlendirme çalışmasında kullanmıştır. Faktör ve alt faktör belirlenmesinde MESS [5]’in çalışmasını referans kullanmıştır. Ayrıca; Kahya [7], Charnes ve ark. [8], Gupta ve Ahmed [9], ve Ahmed [10] faktörlerin ağırlıklandırılmasında lineer programlama tekniğini kullanmışlardır.

Bu çalışmada Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS) [5] tarafından belirlenen iş değerlendirme faktör ve alt faktörleri baz alınmış ve işletme ihtiyacına göre faktörlere gerekli görülen eklemeler yapılmıştır. MESS [5]’in

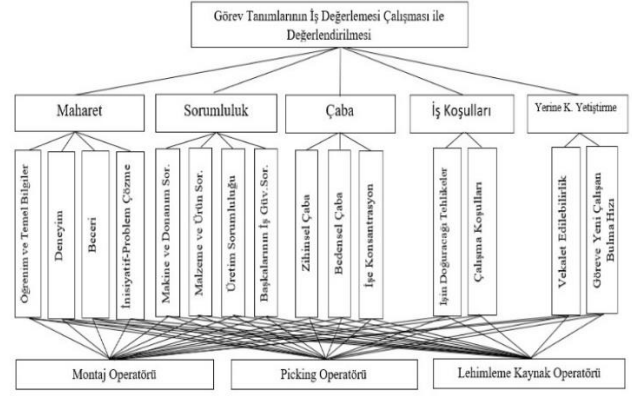
belirlediği faktörler; maharet, sorumluluk, çaba, işin koşulları ana faktörleridir. Fakat bu yapı incelendiğinde, işten ayrılma sebebiyle boş kalan görev tanımı için işe alınan yeni personellerin işe alışma süreleri farklılık göstermektedir. Örneğin montaj operatörlüğü yapan personelin işten ayrılması durumunda yeni başlayan personel işe kolayca adapte olurken, lehimleme kaynak operatörlüğü yapan personelin yerini alacak yeni personel yetiştirmek uzun zaman almaktadır. Ayrıca montaj operatörlüğü görev tanımı işini yapmak üzere tecrübeli/tecrübesiz yeni adaylar rahatça seçilebilirken, lehimleme kaynak operatörü için adaylar belirli dikkat testlerinden geçmektedirler. İşler değerlendirilirken bu faktörlerin de kıymetli olduğu görüşüne varılmış ve yerine koyma-yetiştirme ana faktörü MESS [5] yapısına eklenmiştir.

Kullanılacak ana faktör ve alt faktörlerin nihai durumu Tablo 1’de gösterilmiştir. Faktörlerin hiyerarşik yapısı ise Şekil 1 ‘de gösterilmektedir. Yapılacak işlemlerde kolaylık sağlaması açısından kullanılacak kısaltmalarda aynı tablonun sağ tarafında belirtilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılacak ana faktör ve alt faktörler

Table 1. Key factors and sub-factors that use for application

Faktör Adı	Kısaltma Karşılığı
1. Maharet Ana Faktörü	C1
1.1. Öğrenim ve Temel Bilgiler Alt Fakt.	C11
1.2. Deneyim Alt Faktörü	C12
1.3. Beceri Alt Faktörü	C13
1.4. İnisiyatif ve Problem Çöz. Alt Fakt.	C14
2. Sorumluluk Ana Faktörü	C2
2.1. Mak. ve Donanım Sorumluluğu Alt Fakt.	C21
2.2. Malz. ve Ürün Sorumluluğu Alt Fakt.	C22
2.3. Üretim Sorumluluğu Alt Fakt.	C23
2.4. Başkalarının İş Güvenliği Sor. Alt Fakt.	C24
3. Çaba Ana Faktörü	C3
3.1. Zihinsel Çaba Alt Faktörü	C31
3.2. Bedensel Çaba Alt Faktörü	C32
3.3. İşe Konsantrasyon (Dikkat) Alt Fakt.	C33
4. İşin Koşulları Ana Faktörü	C4
4.1. İşin Doğurabileceği Tehlikeler Alt Fakt.	C41
4.2. Çalışma Koşulları Alt Faktörü	C42
5. Yerine Koyma-Yetiştirme Ana Faktörü	C5
5.1. Vekalet Edilebilirlik Alt Faktörü	C51
5.2. Göreve Yeni Çalışan Bulma Hızı Alt Fakt.	C52



Şekil 1. Ana faktör ve alt faktörlerin hiyerarşik yapısı

Figure 1. Hierarchical structure of key factors and sub-factors

Metodoloji

Günümüz şartlarında iş hayatında yaşanan belirsizlikler, seçeneklerin fazla ve karmaşık oluşu, karar sürecini etkileyebilecek iç ve dış etkenlerin fazlalığı değerlendirme süreçlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bu belirsizlikleri de dikkate alarak sonuca ulaşan bulanık mantık ile çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Bulanık Mantık

Bulanık mantık, günümüz koşullarında net kararlar veremediğimiz durumları matematiksel modele dökerek doğru karara ulaşmamıza yardımcı olacak algoritmalar için kullanılmaktadır. Tarihsel verilere baktığımızda, bulanık mantık alanında yapılan ilk çalışmanın Azeri asıllı bilim adamı Lotfi A. Zadeh [11] tarafından 1965 yılında Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) adlı makalesini yayınlamasıyla literatüre kazandırılmıştır. Zadeh [11] bu çalışmada insan düşüncesindeki bulanıklık ve gerçek hayatta karşımıza çıkan durumlar değerlendirildiğinde 0 ve 1 değerlerinden oluşan ikili mantık sisteminin problemlerin çözümündeki yetersizliğini konu almıştır. İnsanlar çevresel etkiler ya da içsel nedenlerden de kaynaklanan durumlarından dolayı karar verirken çeşitli zorluklarla karşılaşır. Bulanık mantık, belirsizliği konu olduğundan problem ile ilgili kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında dilsel ifadeler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerde kullanılan sayısal ifadeler yerine daha hassas değerlendirme yapabileceğimiz dilsel ifadeler

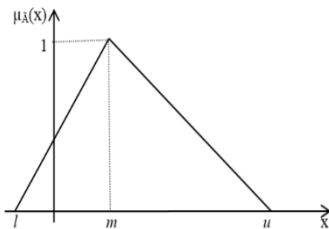
kullanarak bulanık mantık ile en doğru sonuca ulaşmak kolaylaşacaktır.

Geleneksel küme teorisine bakıldığında bir eleman o kümeye aitse 1, ait değilse 0 olarak belirtilmektedir. Bulanık küme kavramına baktığımızda ise üyeler 0 ve 1 değerleri arasında değişen esnek değerler alabilmektedirler. Bu esneklik bulanık mantık bakış açısını daha cazip hale getirmektedir. Günden ve Miran [12] bu esnek yapının bulanık kümelerin keskin olmayan sınırlara sahip olmasından kaynaklandığını çalışmalarında yer vermişlerdir.

Bulanık kümede yaygın olarak kullanılmakta olan üyelik fonksiyonları Tekil, Üçgen, Yamuk, Gaussian, Çan Şekli, Sigmoidal, Başkaya [13]'nın çalışmasında bahsetmiş olduğu S ve Baykal ve Beyan [14]'in çalışmasında bahsetmiş olduğu Π olarak belirlenmişlerdir. Baykal ve Beyan [14]'in bahsettiği üzere bulanık küme teorisi çeşitli üyelik fonksiyonları ile tanımlandıklarından dolayı bulanık sayı çeşitleri de fazlaca bulunmaktadır. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Üçgen üyelik fonksiyonlarının problem çözmedeki işlem kolaylığı ve sezgisel olarak oluşturulabilmeleri nedeniyle Sanchez ve Gomez [15]'in de çalışmalarında belirttiği şekilde en çok kullanılan bulanık sayı türü olduğundan bahsedilmiştir. Literatürde üçgen üyelik fonksiyonu üç parametre ile tanımlanmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonun bileşenleri l , m , u olarak alınır;

$$\mu_{\tilde{A}}(x; l, m, u) = \begin{cases} l \leq x \leq m & \text{ise} & \frac{(x-l)}{(m-l)} \\ m \leq x \leq u & \text{ise} & \frac{(u-x)}{(u-m)} \\ x > u \text{ veya } x < l & \text{ise} & 0 \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 2. Baykal ve Beyan [14]'in hazırladığı üçgen üyelik fonksiyonu

Figure 2. Triangle membership function created by Baykal and Beyan [14]

$\mu_{\tilde{A}}(x)=1$ olmak üzere Baykal ve Beyan [14]'in çalışmasında ele aldığı Şekil 2'deki grafikte görüldüğü gibi m üçgen bulanık sayının tepesi adını alır ve m 'nin l ve u 'nun orta noktası olma zorunluluğu bulunmamaktadır.

Bulanık SWARA

Bulanık SWARA, SWARA metodunda karşılaştırmaların yapılması esnasında bulanık ifadelerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bulanık mantık üzerine kurgulanmış olan Bulanık SWARA metodu, karar verirken yaşanan zorlukların ve etkenler nedeniyle karmaşıklaşan değerlendirme sürecinin daha etkin ve gerçeğe yakın şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu yöntem ile çevresel ve ekonomik duyarlılığı olan değerlendiricilerin kendi önceliklerini seçme hakkı vermektedir. Zolfani ve Sapauskas [16] SWARA'da diğer yöntemlere nazaran değerlendiricilerin öneminin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Literatüre baktığımızda, Perçin [17] Bulanık SWARA ve aksiyomatik tasarım yöntemlerini entegre ederek dış tedarikçi seçimi problemi için çalışma gerçekleştirmiştir. Kiani ve ark. [18] plastik endüstrisinde üçüncü parti lojistik tedarikçisinin seçiminde Bulanık SWARA ve Bulanık MOORA yöntemlerini kullanmıştır. Zarbakhshnia ve ark. [19] ise üçüncü parti lojistik firmaları değerlendirmeleri ve seçimi için Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemlerini entegre etmiştir.

Literatür araştırmalarında da görüldüğü üzere Bulanık SWARA ağırlıklı olarak çok kriterli karar verme problemleri üzerinde kullanılmıştır. Ancak iş değerlendirme uygulaması ile ilgili literatüre bakıldığında Bulanık SWARA metodu kullanılan çalışma yok denecek kadar azdır. Bu sebeple Bulanık SWARA yönteminin kullanılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Adım 1: En önemli görülen kriterden başlanmak üzere sıralama yapılır.

Adım 2: İkinci kriterden başlayarak, her bir kriterle ilgili önem düzeyi Tablo 2'ye göre belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter $(j-1)$ karşılaştırılır. Keršulienė ve ark. [20] bu orantıyı "ortalama değer karşılaştırmalı önemi" diye adlandırmış ve s_j simgesi ile göstermiştir.

Tablo 2. Yazdani [21] ve Chang [22]'in kullanmış olduğu bulanık üye fonksiyonu değerleri

Table 2. Values of fuzzy member function used by Yazdani [21] and Chang [22]

Önem Değeri	Bulanık Sayılar	Sıralama
Çok Düşük	(0,0,0.25)	1
Düşük	(0,0.25, 0.5)	2
Orta	(0.25,0.5,0.75)	3
Yüksek	(0.5,0.75,1)	4
Çok Yüksek	(0.75,1,1)	5

Adım 3: Katsayı (k_j) aşağıdaki eşitlikle (Denklem 2) belirlenir:

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \tilde{s}_j + \tilde{1} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 4: Önem vektörü olan q_j , aşağıdaki eşitlikle (Denklem 3) hesaplanmaktadır:

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \frac{\tilde{x}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Burada, x_{j-1} notasyonu q_{j-1} 'e işaret etmektedir.

Adım 5: Problemdaki kriterlerin bulanık ağırlık değerlerinin (w_j) hesaplanması aşağıdaki eşitlikle (Denklem 4) sağlanır:

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (4)$$

\tilde{w}_j , j . inci kriterin bulanık ifade ile önemini göstermektedir. Hesaplamalar süresince ifadeler üçgensel bulanık sayılar ile $l_1 \leq m_1 \leq u_1$ olacak şekilde $A_1 = (l_1, m_1, u_1)$ şeklinde gösterilecektir.

Adım 6: Hesaplanan kriter ağırlıkları bulanık yapıda olduğundan durulaştırma işlemi Kiani ve ark. [18]'nin da çalışmalarında bahsetmiş olduğu aşağıdaki eşitlikle yapılır:

$$w_j = \frac{(w_j^u - w_j^l) + (w_j^m - w_j^l)}{3} + w_j^l \quad (5)$$

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

AHP uzun yıllardır çok kriterli karar verme yöntemi olarak çeşitli çalışmalarda

kullanılmaktadır. Fakat gerek kriter değerlendirilmede kullanılan metodu gerekse değerlendirilmede kullanılan sayısal ifadeler nedeniyle nihai doğru karara varılmasını güçleştirilmektedir. İnsan psikolojisi ve tüm iç-dış etkenler düşünüldüğünde yapılan tüm değerlendirmelerin net sayılarla ifade edilmesi güçtür. Bu yüzden Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Bulanık Mantık birleştirilerek Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ortaya konulmuştur.

Literatüre bakıldığında; Büyüközkan ve ark. [23], yazılım geliştirme stratejisinin seçimi için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı sunmaktadırlar. Bulanık nakit akışı ve bulanık AHP'yi kullanarak ekonomiklik ve kalite faktörlerine göre yazılım geliştirme projesi için alternatif stratejiler değerlendirilmekte ve içlerinden bir tanesi seçilmektedir. Kahraman ve ark. [24], müşteri istek ve beklentileri doğrultusunda ve bunlara uzman görüşlerini de dahil ederek yaptıkları anket çalışması ile İstanbul'da faaliyet gösteren 3 adet Catering firması arasında bir belirleme yapmışlardır. Cheng ve ark [25], telekom şirketlerinin metropollerdeki internet şebeke alanlarının alt yapı sistemlerinin belirlenmesi ve geleceğe dair bunların planlanmasında bulanık AHP kullanmışlardır.

Kriter ağırlıklarını belirlemek için Buckley [26]'in bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Göksu ve Güngör [27]'ün çalışmasında bahsettiği üzere Buckley [26]'in yaklaşımının avantajı, yapılan işlemlerin sonucunda tek bir sonucu garanti eder ve bulanık duruma genişletilmesinin daha kolay olmasıdır. Yöntem içerisinde çok fazla işlem olması da dezavantajı olarak görülmektedir.

Gül ve ark. [28]'nin çalışmasında da belirtildiği üzere, Bulanık AHP yönteminde uygulanacak Buckley [26]'in adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Hiyerarşideki tüm kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri tanımlanır. Karşılaştırılan iki kriterin birbiri ile önem derecesi sorgulanır ve ifade ettiği dilsel karşılıklar Denklem 6 ve Denklem 7'de gösterildiği şekilde belirtilir.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} i > j, & (1,1,3), (1,3,5), (3,5,7), (5,7,9), (7,9,9) \\ i = j, & (1,1,1) \\ i < j, & (1/3, 1,1), (1/5, 1/3,1), (1/7, 1/5, 1/3), (1/9, 1/7, 1/5), (1/9, 1/9, 1/7) \end{cases} \quad (7)$$

İkili karşılaştırmalar yapılırken Akyüz [29]’ün çalışmasında kullandığı Tablo 3’de gösterilen bulanık ölçekler kullanılır.

Tablo 3: Akyüz [29]’ün çalışmasında kullandığı bulanık önem dereceleri

Table 3: Fuzzy importance degrees used by Akyüz [29] in his work

Matris İfadesi	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önem Değeri	(1,1,1)	(1,1,1)
Biraz Daha Önemli	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)
Daha Fazla Önemli	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
Çok Önemli	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
Kesin Önemli	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,2/7)

Adım 2: Geometrik ortalama tekniği ile Denklem 8’de gösterildiği gibi bulanık geometrik ortalama bulunur:

$$\tilde{r}_i = \sqrt[n]{\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \dots \otimes \tilde{a}_{in}} \quad (8)$$

Adım 3: Denklem 9 kullanılarak kriterlerin bulanık ağırlıkları bulunur.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \otimes \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (9)$$

Burada, \tilde{w}_i , i. kriterin bulanık ağırlığıdır. Gösterimi $\tilde{w}_i = (lwi, mwi, uwi)$ şeklindedir. Burada kullanılan lwi, mwi, uwi , i.kriterin bulanık ağırlığının sırasıyla alt, orta ve üst değerlere karşılık gelen ifadesinde kullanılır.

Adım 4: Kullanılan tüm kriterlerin en iyi bulanık olmayan performans (the best non-fuzzy performance–BNP) değerini bulmak için COA (centre of area) yöntemi aşağıdaki Denklem 10 ile kullanılır.

$$w_r = \frac{\tilde{w}_r}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} = \frac{w_{rl} + w_{rm} + w_{ru}}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} \quad (10)$$

Alternatiflerin sıralarını belirlemek için, bulunan BNP değerleri kullanılır, sıralama yapılır.

Uygulama

Bu çalışmada iki farklı yöntem olan Bulanık SWARA ve Bulanık AHP ele alınmıştır.

Bulanık SWARA Yöntemi

Bulanık SWARA uygulaması yapı gereği karar vericilerin görüşlerini diğer yöntemlerden daha fazla öne çıkan bir uygulamadır. Bu çalışmada 4 adet uzman karar vericinin görüşü alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Karar vericiler; işletmede 3 yıldır görev yapmakta olan insan kaynakları şefi, 12 yıldır görev yapmakta olan montaj müdürü, 10 yıldır görev yapmakta olan montaj şefi ve 8 yıldır görev yapmakta olan montaj formeni olarak belirlenmiştir.

Adım 1: Değerlendiriciler en önemli gördükleri kriterden başlayarak ilgili sıralamayı yapar.

Çalışmada ana kriterler üzerinden adımlar Tablo 4’te gösterilmiş olup, aynı işlemler her bir alt kriter için de uygulanmıştır.

Tablo 4. Ana faktörlerin karar vericiler tarafından önem sırasına göre sıralanması

Table 4. Ranking of the main factors in the order of importance by the decision makers

Faktörler	KV1	KV2	KV3	KV4
C1	1	1	2	1
C2	2	3	1	2
C3	4	2	3	4
C4	3	4	4	3
C5	5	5	5	5

Adım 2: Faktörler karar vericiler tarafından sıralandıktan sonra, j kriteri ile bir önceki kriter (j-1) karşılaştırılır. İkinci kriterden başlayarak her bir kritere göreli önem düzeyi Tablo 2’ ye göre belirlenir.

Tablo 5. Karar vericilerin alt kriter bulanık değerlendirmelerin ortalaması

Table 5. Average of sub criteria fuzzy assessments of decision makers

	C1	C2	C3	C4	C5
kv1l	0,75	0,5	0	0,25	0
kv1m	1	0,75	0,25	0,5	0,25
kv1u	1	1	0,5	0,75	0,5
kv2l	0,75	0,25	0,25	0	0
kv2m	1	0,5	0,5	0,25	0
kv2u	1	0,75	0,75	0,5	0,25

kv3l	0,5	0,5	0,25	0,25	0
kv3m	0,75	0,75	0,5	0,5	0,25
kv3u	1	1	0,75	0,75	0,5
kv4l	0,75	0,5	0,25	0,25	0
kv4m	1	0,75	0,5	0,5	0
kv4u	1	1	0,75	0,75	0,25
pjl	0,69	0,44	0,19	0,19	0
pjm	0,94	0,69	0,44	0,44	0,13
pju	1	0,94	0,69	0,69	0,38

Adım 3-4-5: Adım 3,4 ve 5'te gösterilen işlemler sırasıyla uygulanarak Tablo 6'da gösterildiği üzere bulanık SWARA değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. Ana faktörlerin bulanık SWARA sonuçları

Table 6. Fuzzy SWARA results of main factors

	wj1'	wjm'	wju'
C1	0,249	0,28	0,276
C2	0,199	0,224	0,26
C4	0,159	0,179	0,208
C3	0,159	0,179	0,208
C5	0,134	0,137	0,159

Adım 6: Ağırlıklar bulanık yapıda olduğundan durulaştırma işlemi aşağıdaki Tablo 7'de gösterildiği gibidir.

Tablo 7. Ana faktörlerin durulaştırılmış SWARA ağırlıkları

Table 7. Defuzzification SWARA results of main factors

Ana Faktörlerin Ağırlıkları	Ana faktörler	Durulaştırılmış Ağırlıklar
C1	Maharet	0,267
C2	Sorumluluk	0,227
C3	Çaba	0,182
C4	İş Koşulları	0,182
C5	Yerine K-Yetiştirme	0,143

Diğer alt faktörlerin de aynı işlem adımları takip edilerek durulaştırılmış ağırlıkları hesaplanmıştır.

İş değerlendirme çalışmasının başarısı kullanılacak faktörlerin doğru belirlenmesine bağlıdır. Faktörler gerçeği yansıtır ise çalışma da o kadar verimli sonuçlar verecektir.

Maharet faktörünün alt faktörü olan beceri, yapılan işin hangi derecede beceri-yetenek

gerektirdiğini ölçmek için kullanılır. Tablo 8'de beceri alt faktörünü dereceleri ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

Tablo 8. Beceri alt faktörünün dereceleri

Table 8. Factor degrees of experience sub-factor

Derece Tanımları	Faktör Dereceleri
Herhangi bir özel beceri gerektirmeyen işler	1
El becerisi (basit el aleti, donanım ve tezgahlar ile çalışmak)	2
Düşünsel beceri (Talimatları uygulayarak karar alabilen, karmaşık yapıli alet donanım ve tezgahların koordinasyonunu sağlayan)	3
Yönetmel beceri (Makine ekipman ve insan yönetimi)	4
Programlanabilir çok özel makine ve donanım kullanırken veya çok hassas parçalar üzerinde çalışırken birkaç uzvun en yüksek düzeyde koordinasyonunu gerektiren işler	5

Aynı şekilde tüm alt faktörler için benzer değerlendirilmeler yapılmıştır.

Tüm ana faktör ve alt faktörlere puanlar dağıtılırken en yüksek puanın 1000 olabileceği varsayımıyla işlemlere devam edilmiştir.

Örneğin maharet ana faktörünün bulanık SWARA ağırlığı 0,267 iken bu faktöre verilen puan, 1000 toplam üzerinden 267 puan olarak belirlenmiştir. Maharet faktörünün ortaya çıkan puanın alt faktörlerine paylaşılması yine SWARA yönteminden çıkan ağırlıklar ile belirlenmiş, beceri alt faktörünün puanı ($267 \times 0,263 = 70$) şeklinde belirlenmiş olup aynı işlemler tüm alt faktörlere uygulanmıştır.

Her bir alt faktör puanının faktör derecelerine dağıtılmasında Liberatore [30]'un geliştirmiş olduğu beş noktalı değer skalası Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Liberatore [30] tarafından geliştirilen beş noktalı değer skalası karşılaştırma matrisi

Table 9. Comparison matrix for five-point value scale developed by Liberatore [30]

	M	İ	O	V	Z
M	1	3	5	7	9
İ	1/3	1	3	5	7

O	1/5	1/3	1	3	5
V	1/7	1/5	1/3	1	3
Z	1/9	1/7	1/5	1/3	1

İkili karşılaştırma matrisi dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda mükemmel 0,513, iyi 0,261, orta 0,129, vasat 0,063 ve zayıf için 0,034 önem ağırlıkları olarak belirlenmiştir.

Alt faktör puanlarının faktör derecelerine dağıtılmasında Dağdeviren ve ark. [31] çalışmalarında bahsettiği üzere, alt faktörün puanı en büyük derecenin puanı olarak kabul edilmiş ve diğer derecelerin puanları Liberatore [30] skalası değerlerinin en büyük değere oranlanmasıyla bulunmuştur. Örneğin beceri alt faktörünün sahip olduğu 70 puan, en yüksek derecenin puanı olarak kabul edilmiştir. Üçüncü derecenin puanı $(0,129 \times 70) / (0,513) = 18$ olarak hesaplanmıştır.

Faktör derecelendirme metodu diğer tüm alt kriterlere de aynı şekilde uygulanmış ve elde edilen puan planı Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Bulanık SWARA faktör derece puan tablosu

Table 10 . Fuzzy SWARA factor rating table

Ana Faktör/Alt Faktör	Puan	Faktör Derece Puanları				
		1	2	3	4	5
1.Maharet	267					
1.1. Öğrenim ve Temel B.	78	5	10	20	40	78
1.2. Deneyim	64	4	8	16	32	64
1.3. Beceri	70	5	9	18	36	70
1.4. İnsiyatif-Problem Ç.	54	4	7	14	28	54
2.Sorumluluk	227					
2.1. Mak. ve Donanım Sor.	43	3	5	11	22	43
2.2. Malzeme ve Ürün Sor.	70	5	9	18	36	70
2.3. Üretim Sor.	63	4	8	16	32	63
2.4. Başk. İş Güv.Sor.	50	3	6	13	26	50
3.Çaba	182					
3.1. Zihinsel Çaba	48	3	6	12	25	48
3.2. Bedensel Çaba	74	5	9	19	38	74
3.3.İşe Konsantrasyon	60	4	7	15	30	60
4.İş Koşulları	182					
4.1.İşin Doğ.Tehlikeler	84	6	10	21	43	84

4.2.Çalışma Koşulları	98	7	12	25	50	98
5. Yerine Koyma	143					
5.1.Vekalet Edilebilirlik	75	5	9	19	38	75
5.2.Gör.Yeni Çal.Bulma H.	68	5	8	17	35	68

Gerekli değerlendirmeler için personeller, beyin fırtınası tekniğini kullanarak görüşlerini belirtmişlerdir.

Öncelikle Tablo 11’de montaj operatörü için yapılan faktör derece puanlama değerleri yer almaktadır. Aynı değerlendirmeler picking operatörü ve lehimleme kaynak operatörü için de yapılmıştır.

Tablo 11. Bulanık SWARA ile Montaj Op. Faktör Derecelendirme Puan Tablosu

Table 11. Assembly operator factor rating score table with Fuzzy SWARA

Ana Faktör/Alt Faktör	Puan	Faktör Derece Puanları				
		1	2	3	4	5
1.Maharet	267					
1.1.Öğrenim ve Temel B.	78	5	10	20	40	78
1.2.Deneyim	64	4	8	16	32	64
1.3.Beceri	70	5	9	18	36	70
1.4.İnsiyatif-Problem Ç.	54	4	7	14	28	54
2. Sorumluluk	227					
2.1.Mak. ve Donanım Sor.	43	3	5	11	22	43
2.2.Malzeme ve Ürün Sor.	70	5	9	18	36	70
2.3.Üretim Sor.	63	4	8	16	32	63
2.4.Başk. İş Güv.Sor.	50	3	6	13	26	50
3.Çaba	182					
3.1.Zihinsel Çaba	48	3	6	12	25	48
3.2.Bedensel Çaba	74	5	9	19	38	74
3.3.İşe Konsantrasyon	60	4	7	15	30	60
4.İş Koşulları	182					
4.1.İşin Doğ.Tehlikeler	84	6	10	21	43	84
4.2.Çalışma Koşulları	98	7	12	25	50	98
5. Yerine Koyma	143					
5.1.Vekalet Edilebilirlik	75	5	9	19	38	75
5.2.Gör.Yeni Çal.Bulma H.	68	5	8	17	35	68

Bulanık SWARA uygulaması değerlendirme sonucunda montaj operatörü 216 puan, picking operatörü 196, lehimleme kaynak operatörü ise 291 puan almıştır. Bulanık SWARA yönteminden çıkan sonuçlara göre 3 görev tanımı arasında önem düzeyi bakımından en yüksek puanı lehimleme kaynak operatörü, sonrasında montaj operatörü ve son sırada da picking operatörü almıştır.

Bulanık AHP Yöntemi

Çok kriterli karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan AHP yönteminin geliştirilmiş versiyonu olan bulanık AHP metodu, bulanık değerler kullanılarak uygulanmıştır. Bulanık verilerin esnek şekilde karşılaştırma sağlaması ve literatürde iş değerlemesi çalışmasında bulanık AHP uygulaması az sayıda olduğundan, bu yöntemle karar verilmiştir.

Adım 1: Ağırlıkların belirlenmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. Karşılaştırmalar ana faktörler kendi aralarında ve alt faktörler de kendi aralarında olacak şekilde yapılmıştır. Buckley [26] yöntemi esas alınarak yapılan ikili karşılaştırma ve hesaplamalardan sadece ana faktörlere ait olan hesaplamalar aşağıda yer almaktadır.

Tablo 12. Ana faktörlerin ikili karşılaştırılması

Table 12. Binary comparison of the main factors

Faktör/Alt Faktör	Maharet	Sorumluluk	Çaba	İş Koşulları	Yerine K.-Yetiştirme
Maharet	(1,1)	(2/3, 1,3/2)	(3/2, 2,5/2)	(2/3, 1,3/2)	(3/2, 2,5/2)
Sorumluluk	(2/3, 1,3/2)	(1,1)	(3/2, 2,5/2)	(3/2, 2,5/2)	(2/3, 1,3/2)
Çaba	(2/5, 1/2,2/3)	(2/5, 1/2,2/3)	(1,1)	(2/3, 1,3/2)	(2/3, 1,3/2)
İş Koşulları	(2/3, 1,3/2)	(2/5, 1/2,2/3)	(2/3, 1,3/2)	(1,1)	(3/2, 2,5/2)
Yerine K.-Yetiştirme	(2/5, 1/2,2/3)	(2/3, 1,3/2)	(2/3, 1,3/2)	(2/5, 1/2,2/3)	(1,1)

Adım 2: İkili karşılaştırma sonrasında Denklem 8’de belirtildiği üzere geometrik ortalamalar aşağıdaki Tablo 13’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır:

Tablo 13. Ana kriterlerin bulanık geometrik ortalamaları

Table 13. Fuzzy geometric average of the main criteria

	l	m	u
\tilde{r}_1	1,0000	1,3195	1,6967
\tilde{r}_2	0,2000	1,3195	1,6967
\tilde{r}_3	0,5894	0,7579	1,0000
\tilde{r}_4	0,7677	1,0000	1,3026
\tilde{r}_5	0,5894	0,7579	1,0000

Adım 3: Geometrik ortalamalar hesaplandıktan sonra Denklem 9’da gösterildiği üzere ana kriterleri bulanık ağırlıkları Tablo 14’ de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır:

Tablo 14. Ana kriterlerin bulanık ağırlıkları

Table 14. Fuzzy average of main factors

	l	m	u
\tilde{w}_1	0,1493	0,2560	0,5393
\tilde{w}_2	0,0299	0,2560	0,5393
\tilde{w}_3	0,0880	0,1470	0,3178
\tilde{w}_4	0,1147	0,1940	0,4140
\tilde{w}_5	0,0880	0,1470	0,3178

Adım 4: Daha sonra bulanık ağırlıklar Denklem 10’daki formül kullanılarak Tablo 15 ’de gösterildiği üzere durulaştırılarak aşağıdaki nihai faktör ağırlıkları elde edilir.

Tablo 15. Ana kriterlerin durulaştırılmış ağırlıkları

Table 15. Defuzzification weights of the main criteria

Ana Faktör Ağırlıkları	Ana faktörler	Durulaştırılmış Ağırlıklar
w1	Maharet	0,263
w2	Sorumluluk	0,229

w3	Çaba	0,154
w4	İş Koşulları	0,201
w5	Yerine K-Yetiş.	0,154

SWARA yönteminde kullanıldığı üzere Liberatore [30] tarafından geliştirilen skala Bulanık AHP yönteminde de kullanılmış ve faktör derece puanları Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. Bulanık AHP ile elde edilmiş faktör puan planı

Table 16. Factor score plan obtained with fuzzy AHP

Ana Faktör/Alt Faktör	Puan	Faktör Derece Puanları				
		1	2	3	4	5
1.Maharet	263					
1.1.Öğrenim ve Temel B.	94	6	12	24	48	94
1.2.Deneyim	53	4	7	13	27	53
1.3.Beceri	81	5	10	20	41	81
1.4.İnsiyatif-Problem Ç.	35	2	4	9	18	35
2. Sorumluluk	229					
2.1.Mak. ve Donanım Sor.	26	2	3	7	13	26
2.2.Malzeme ve Ürün Sor.	82	5	10	21	42	82
2.3.Üretim Sor.	68	4	8	17	34	68
2.4.Başk. İş Güv.Sor.	53	4	7	13	27	53
3.Çaba	154					
3.1.Zihinsel Çaba	24	2	3	6	12	24
3.2.Bedensel Çaba	70	5	9	18	36	70
3.3.İşe Konsantrasyon	57	4	7	14	29	57
4.İş Koşulları	201					
4.1.İşin Doğ.Tehlikeler	68	5	8	17	35	68
4.2.Çalışma Koşulları	133	9	16	33	68	133
5. Yerine Koyma	154					
5.1.Vekalet Edilebilirlik	104	7	13	26	52	102
5.2.Gör.Yeni Çal. Bulm.H.	52	3	6	13	26	52

Ortaya çıkan tablodan sırasıyla üç görev tanımı için değerlendirmeler yapılmıştır. Montaj operatörü için yapılan değerlendirme Tablo 17’deki gibidir.

Tablo 17. Montaj operatörü bulanık AHP iş değerlendirme puan tablosu

Table 17. Fuzzy AHP job evaluation score table of assembly operator

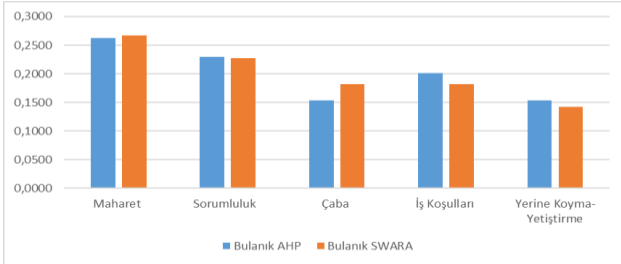
Ana Faktör/Alt Faktör	Puan	Faktör Derece Puanları				
		1	2	3	4	5
1.Maharet	263					
1.1.Öğrenim ve Temel B.	94	6	12	24	48	94
1.2.Deneyim	53	4	7	13	27	53
1.3.Beceri	81	5	10	20	41	81
1.4.İnsiyatif-Problem Ç.	35	2	4	9	18	35
2. Sorumluluk	229					
2.1.Mak. ve Donanım Sor.	26	2	3	7	13	26
2.2.Malz. ve Ürün Sor.	82	5	10	21	42	82
2.3.Üretim Sor.	68	4	8	17	34	68
2.4.Başk. İş Güv.Sor.	53	4	7	13	27	53
3.Çaba	154					
3.1.Zihinsel Çaba	24	2	3	6	12	24
3.2.Bedensel Çaba	70	5	9	18	36	70
3.3.İşe Kons.	57	4	7	14	29	57
4.İş Koşulları	201					
4.1.İşin Doğ.Tehlikeler	68	5	8	17	35	68
4.2.Çalışma Koşulları	133	9	16	33	68	133
5. Yerine Koyma	154					
5.1.Vekalet Edilebilirlik	104	7	13	26	52	102
5.2.Gör.Yeni Çal. Bulma H.	52	3	6	13	26	52

Yapılan değerlendirme sonucunda montaj hattında çalışacak olan montaj operatörünün Bulanık AHP iş değerlendirme puanından 215, picking operatörünün Bulanık AHP iş değerlendirme puanından 193, lehimleme

kaynak operatörü Bulanık AHP iş değerlendirme plan puanından 286 puan almıştır. Bulanık AHP yönteminin sonuçlarına bakıldığında ısıtma soğutma sektöründe faaliyet gösteren montaj fabrikasında sadece üç görev tanımı düşünüldüğünde, yapılan en kıymetli iş lehimleme kaynak operatörü, sonrasında montaj operatörü ve picking operatörü şeklinde sonuçlanmıştır.

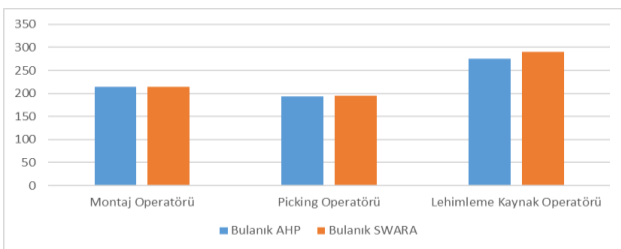
Değerlendirme ve Sonuç

İşletmelerdeki en değerli süreç olan ücret sisteminin alt yapısı niteliğindeki iş değerlendirme yönteminde Bulanık SWARA ve Bulanık AHP metodlarının kullanımı gösterilmiştir. Uygulanan yöntemler sonucunda yeni kurulacak montaj hattında çalışacak 3 farklı görev tanımının ana faktör ve alt faktörler ışığında karar vericiler tarafından adil bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır. İki farklı yöntem sonucunda elde edilen ana faktör ve alt faktörlerin ağırlıkları karşılaştırıldığında; ana faktörlerin karşılaştırılması Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. İş değerlendirme ana faktörlerin karşılaştırılması

Figure 3. Compare of job evaluation main factors



Şekil 4. Görev tanımlarının toplam puanlarının karşılaştırılması

Figure 4. Compare of job descriptions total scores

Şekil 4’de gösterildiği üzere Bulanık AHP ve Bulanık SWARA yöntemlerinin her ikisinin sonucunda da önem ağırlığı en yüksek görev tanımı lehimleme kaynak operatörü olarak belirlenmiştir. Yaptığı iş yoğun dikkat gerektiren

bir iştir. Ayrıca kaynak dumanına maruz kalan çalışma ortamları mevcuttur.

Montaj operatörü ise çalışma saatleri boyunca ayakta çalışmak ve günlük üretim hedeflerinin tutturulabilmesi için belirli bir hız ile çalışmak zorundadırlar. Bu sebeple ikinci önemli görev olarak puanlanmıştır. Picking operatörü dediğimiz yani hatta malzeme toplayıcı olarak görev yapan çalışanlar da montaj hatlarına destek verici olarak hat besleme alanlarında çalıştıklarından daha az zihinsel konsantrasyon gerektirdiği ve çalışma hızlarının hat beslemeye yetecek kadar normal seviyede olmasından dolayı diğer görevler arasında üçüncü sıraya yerleşmektedirler.

İşletmedeki sadece yapılan işin değerlendirildiği ve güvenilir verilerle yapılan işlemlerden sonra elde edilen sistem yapısının ücret skalasına yansımaya, çalışanlar arasında da güvenilir bir ücret politikası oluşturulacaktır. Çalışanın değil yapılan işin değerlendirildiği, karar vericilerin görüşlerinin alınıp ortak noktada buluşulması sistemin doğruluğuna olan güveni arttırmaktadır.

İşletmeler kendilerine has ücret skalalarına iş değerlendirme çalışması sonucu görev tanımlarının aldıkları puanları skalalara yerleştirilerek, çalışandan bağımsız sadece yapılan işin niteliklerinin ve çevresel koşulların değerlendirildiği adil ve doğru bir ücret sistemi kurulmuş olacaktır.

İş değerlendirme çalışması esnasında gerek hat çalışma koşulları gerekse tüm personellerin yaptıkları işler ayrı ayrı incelendiği için çalışanların görev ve yetkisi dışında yapılan işlemler kolayca fark edilip müdahale edilebilir, iş akışları yenilenebilir, İSG kurallarına aykırı durumların tespiti kolaylaşabilir, süreçlerdeki aksaklıklar tespit edilip KAIZEN uygulamaları başlatılabilir.

Kaynaklar

- [1] Ergül, Hüseyin Fazlı (2006), “Kurumlarda Ücret, Ücret Sistemleri Ve Ücret-Başarı İlişkisi”, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 5, Sayı 18, 92-105, [Http://www.E-Sosder.Com](http://www.E-Sosder.Com) (Erişim Tarihi 22.05.2010).
- [2] Kurgun, Osman Avşar ve Derya Alımanoğlu Yemişçi (2007), “İş Değerlemede Puanlama Yöntemi ve Büyük Ölçekli Bir Otel İşletmesinde Uygulama” Çimento İşveren Dergisi, Temmuz Sayısı, 4-15.Gemalmaz, O., Analitik İş Değerlendirme Puan Yöntemi, Ankara, MPM Yayınları, No: 318, 1995.

- [3] Acar, Ahmet (2007), Ücret Yapısının Oluşturulması, Literatür Yayınları, İstanbul.
- [4] Akyıldız, Hüseyin (2001), Ücret Yapısının Oluşumu, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın No:11, Isparta.
- [5] MESS, Metal Sanayii İş Gruplandırma Sistemi, İstanbul, 1996.
- [6] Kahya, E., 2002. İş Değerlemesi ve Ücret Sistemi. Eskişehir, 70s. (Yayınlanmamış)
- [7] Kahya, Emin (2006), “Metal İş Kolunda Bir İşletme İçin İş Değerleme Sistemi Geliştirilmesi”, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt 17, Sayı 4, 2-21.
- [8] A. Charnes, W.W. Cooper and R.O. Ferguson, Optimal estimation of executive compensation by linear programming, *Management Science* 1(1) (1955), 138–151.
- [9] J.N.D. Gupta and N.U. Ahmed, A goal programming approach to job evaluation, *Computers and Engineering* 14 (1988), 147–152.
- [10] N.U. Ahmed, An analytic technique to develop factor weights in job evaluation, *The Mid-Atlantic Journal of Business* 25(5) (1989), 1–6.
- [11] Zadeh, Lotfi A. (1965), “Fuzzy Sets.” *Information And Control*, 8, Pp. 338-353.
- [12] Günden, Cihat Ve Bülent Miran; (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Çiftçi Kararlarının Analizi”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(3), Ss. 195-204.
- [13] Başkaya, Zehra; (2011), *Bulanık Doğrusal Programlama*, Birinci Baskı, Bursa: Ekin Yayınevi.
- [14] Baykal, Nazife Ve Timur Beyan; (2004), *Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri*, Birinci Baskı, Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- [15] Sanchez, J. and Gomez, A. T. (2003), “Applications of Fuzzy Regression in Actuarial Analysis”, *The Journal of Risk and Insurance*, Vol. 70, No : 4, pp. 665-699.
- [16] Zolfani, S. H. ve Saparaukas, J. 2013. New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. *Engineering Economics*, 24(5), 408–414.
- [17] Perçin, S. 2019. An integrated fuzzy SWARA and fuzzy AD approach for outsourcing provider selection, *Journal of Manufacturing Technology Management*, doi: 10.1108/JMTM-08-2018-0247.
- [18] Kiani, R.M., Goh, M. and Zarbakhshnia, N. 2017. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Heidelberg Vol. 91, Iss. 5-8, 2017: 2401-2418 doi:10.1007/s00170-016-9880-x.
- [19] Zarbakhshnia N., Soleimani H., Ghaderi H. 2018. Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria *Applied Soft Computing* Vol.65, 307-319, doi: 10.1016/j.asoc.2018.01.023.
- [20] Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258.
- [21] Yazdani, M., Alidoosti, A., & Zavadskas, E. K. (2011). Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS. *Economic Research-Ekonomska İstraživanja*, 24(4), 27-40.
- [22] Chang, Y. F., Watada, J., & Ishii, H. (2012). A fuzzy MCDM approach to building a model of high performance project team a case study. *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, 8, 7393-7404.
- [23] Büyüközkan, G., Kahraman, C. ve Ruan, D., (2004), “A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection”, *International Journal of General Systems*, 33 (2-3), pp. 259-280.
- [24] Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D., (2004), “Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey” *International Journal of Production Economics*, 87 , 171-184.
- [25] Cheng, J. Z., Chen, P. T. ve Yu, H. C. D., (2004), “Establishing A MAN Access Strategy for Future Broadband Service: a Fuzzy MCDM Analysis of SONET/SDH and Gigabit Ethernet”, *Science Direct*.
- [26] Buckley, James J.; (1985), "Fuzzy Hierarchical Analysis", *Fuzzy Sets And Systems*, 17(3), Pp. 233-247.
- [27] Göksu, Ali Ve İbrahim Güngör; (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses Ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması” *Süleyman Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 13(3), Ss. 1-25.
- [28] Gül, M., Çelik, E., Güneri, A. F., Gümüş, A. T., 2012. Simülasyon İle Bütünleşik Çokkriterli Karar Verme: Bir Hastane Acil Departmanı İçin Senaryo Seçimi Uygulanması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 11 (22), Ss. 1-18.
- [29] Akyüz, G., 2012. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Fabrika İmalat Performansının Ölçümü. *Ege Akademik Bakış Dergisi*. 12(3), ss. 323-338.
- [30] Liberatore, Matthew J., Robert L. NYDICK and Peter M. SANCHEZ (1992), “The Evaluation of Research Papers”, *Interfaces*, 1992, Vol. 22, No. 2, 92-100.
- [31] Dağdeviren, Metin, Diyar Akay ve Mustafa Kurt (2004b), İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması **** *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, Cilt 19, No 1, 89-95.

İstenmeyen E-postaların Tespiti için Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi

Review of the Methods Used for the Detection of Spam

E. Enes Eryılmaz^{*1}, Erdal Kılıç²

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, enes.eryilmaz@bil.omu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1163-970X

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, erdal.kilic@bil.omu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1585-0991

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 6 Nisan 2020
Düzeltilme: 6 Mayıs 2020
Kabul: 22 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

İstenmeyen e-posta tespiti, yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme

ÖZET

İstenmeyen elektronik postalar alıcıya rızası dışında gönderilen ve genellikle kötü niyetli veya tanıtım amaçlı olan kişilerin başvurduğu bir yöntemdir. Elektronik postalar, kullanımının kolaylığı, maliyetlerinin ucuz olmasından dolayı propaganda, reklam, ortalama yapmak isteyen kişi veya topluluklar tarafından etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Amaçlarını gerçekleştirmek isteyen kişi veya topluluklar hiç tanımadıkları e-posta hesaplarına gereksiz ve istenmeyen postalar gönderirler. Bu çalışmada, istenmeyen elektronik postaların filtrelenmesi için literatürde bulunan yöntemler incelenmiştir. Bu istenmeyen e-posta filtreleme yöntemleri temel olarak yapay zekâ tabanlı olmayan ve yapay zekâ tabanlı olan şekilde iki ana başlık altında incelenmiştir. Yapay zekâ tabanlı olmayan yöntemlerin istenmeyen e-posta tespitinde etkili sonuçlar verdiği ancak literatürde bu yöntemleri atlayabilen tekniklerin olduğu görülmektedir. İstenmeyen e-posta tespitinde yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları kullanan sistemlerin popüleritesinin arttığı ve araştırmaların bu yönde ivme kazandığı görülmektedir. Özellikle derin öğrenme yöntemleri yüksek performansları nedeniyle spam tespitinde tercih edilmeye başlamıştır. Literatürde klasik makine öğrenme yöntemlerinden olan Bayes, Destek Vektör Makinesi, Yapay Sinir Ağı, Rastgele Orman, Çok Katmanlı Algılayıcı, K-En Yakın Komşu gibi algoritmaların kullanıldığı spam tespit yöntemlerinde yüksek başarımlar sağladığı görülmektedir. Uzun Kısa Süreli Bellek ve Evrimsel Sinir Ağı algoritmalarını kullanan derin öğrenme temelli spam tespit yöntemlerinin başarımlarını daha da artırdığı farklı veri kümeleri kullanılarak gösterilmiştir. Ayrıca spam tespit sistemlerinde bulunan açık problemler ve Türkçe özelinde bu çalışmaların hangi aşamada olduğu da bu çalışmada irdelenmiştir ve çeşitli öneriler yapılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.715638

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 April 2020
Revised: 6 May 2020
Accepted: 22 May 2020

Keywords:

Spam e-mail detection, artificial intelligence, machine learning, deep learning

ABSTRACT

Spam e-mails are a method that is sent to the recipient without his consent and is generally used by people with malicious or promotional purposes. E-mails are actively used by people or communities who want to make propaganda, advertising, phishing because of their ease of use and low cost. People or communities who want to achieve their goals send spam to the e-mail accounts they never knew. In this study, the methods in the literature for filtering spam e-mails were examined. These spam filtering methods are mainly examined under two main headings: non-artificial intelligence-based and artificial intelligence-based. It is seen that non-artificial intelligence-based methods give effective results in detecting spam, but there are techniques in the literature that can bypass these methods. It is seen that the systems that use artificial intelligence-based machine learning algorithms in detecting spam have increased in popularity and research has gained momentum in this direction. Especially deep learning methods have been preferred for spam detection due to their high performance. In the literature, it is seen that it provides high performance in spam detection methods using algorithms such as Bayes, Support Vector Machine, Artificial Neural Network, Random Forest, Multilayer Perceptron, and K-Nearest Neighbour, which are classical machine learning methods. It has been demonstrated using different datasets that deep learning-based spam detection methods using Long Short Term Memory and Convolutional Neural Network algorithms further increase the performance rates. Besides, open problems found in spam detection systems and the stage of these studies in Turkish are also examined in this study and various suggestions have been made.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Ersin Enes ERYILMAZ
✉ enes.eryilmaz@bil.omu.edu.tr

Giriş

Elektronik posta (e-posta ya da e-mail), internet üzerinden gönderilen dijital mektuptur. Ucuzluğu ve kolaylığı nedeniyle tercih edilen e-mail ile her gün dünyada milyarlarca e-posta gönderilmektedir.

Spam e-mail ise istenmeyen, önemsiz, gereksiz e-posta anlamına gelir. Genellikle, talep etmeyen çok sayıda alıcıya bir reklam veya alakasız içeriği olan bir mesajın gönderildiği anlamına gelir.

2017 yılında dünya çapında her gün yaklaşık 269 milyar, 2018'de 281 milyar, 2019 yılında 293 milyar e-posta gönderilmiş ve alınmıştır. Bu sayının 2023 yılında günlük 347 milyardan fazla e-postaya çıkacağı tahmin edilmektedir. Akıllı telefonlarla birlikte her ne kadar yeni tür mesajlaşma uygulamaları ortaya çıksa da e-posta kullanımı her geçen yıl artmakta bundan sonraki yıllarda da artmaya devam edeceği görülmektedir [1].

E-posta kullanıcısı sayısının 2017 yılında 3.7 milyar olduğu, 2020 yılında 4 milyar olacağı ve 2023 yılında 4.3 milyar olacağı öngörülmektedir [2]. Tüm e-postaların sayısının günlük 14.5 milyar olduğu ve en yaygın spam türünün reklamcılıkla ilgili (%36.5) olduğu bilinmektedir. İkinci en yaygın spam türü, tüm istenmeyen e-postaların %31,7'sini oluşturan yetişkinlerle ilgili içeriktir. Mali konularla ilgili mesajlar üçüncü sırada yer alır ve tüm spam e-postalarının yaklaşık %26.5'ini oluşturur. Gönderilen her 12.5 milyon spam e-posta için yalnızca bir kişi yanıt verse de spam göndericiler günde yaklaşık 7.000\$ kazanmaktadır. Böylelikle spam, işletmelere her yıl 20.5 milyar dolarlık bir maliyet getirdiği değerlendirilmiştir [3].

2012 yılında toplam e-postaların %69'u istenmeyen e-posta olurken bu oran 2018'de toplam e-postaların %55'ine denk gelmektedir. Her ne kadar istenmeyen e-posta oranı düşmüş olsa da tüm e-postaların yarısından fazlasının hala istenmeyen e-posta olduğu tespit edilmiştir [4]. Bu durum istenmeyen elektronik postaların tespiti ve sınıflandırma işlemlerinin yapılmasında yıllara göre başarılı sonuçlar alınmasına rağmen aynı şekilde çalışmalara devam edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Mevcut spam tespit yöntemleri çoğunlukla spam göndericilerin sürekli olarak getirdiği yenilikçiliğin gerisinde kalmakta, bundan dolayı da spam tespit yöntemleri de güncel yeni teknikler kullanılarak sürekli olarak geliştirilmektedir.

Bu nedenle, bu gelişmelerin zaman içinde nasıl ilerlediği ve değiştiği, bu değişimlerde ne tür yöntemler ve veriler kullandığı, başarımlarının nasıl değiştiği, bu yöntemlerin temel problemlerinin neler olduğu ve Türkçe özelinde bu çalışmaların hangi aşamada olduğu bu çalışmanın temel motivasyonu olmuştur.

Gözden geçirme çalışmasının bundan sonraki kısımlarında kronolojik olarak bu yöntemlerden bahsedilmiş, çözümler eleştirel olarak değerlendirilmiş ve daha fazla iyileştirmenin nasıl yapılabileceğine dair öneriler verilmiştir.

Spam Tespit Sistemleri

Spam tespit sistemleri yapay zekâ tabanlı olan ve olmayan şeklinde iki ana grupta incelenebilir.

Yapay zekâ tabanlı olmayan spam tespit sistemleri

Bu sistemlerin çoğu bağımsız yazılım programları veya çevrimiçi tabanlı çözümler gibi farklı platformlarda kullanılabilen yaygın istenmeyen e-posta önleme çerçeveleridir. Bunlar, sunucu yetkilendirme sistemleri, işbirlikçi yöntemler, sezgisel filtreleme ve içeriğe dayalı yaklaşımlar olarak sıralanabilir [5].

Sunucu yetkilendirme - kimlik doğrulama sistemleri

SPF (Gönderen politikası çerçevesi), DKIM (Alan adı anahtarlarıyla tanımlanmış e-posta) ve DMARC (Alan adı esaslı ileti kimlik doğrulaması, raporlama ve uyumluluk), posta sunucusunun kimliğini doğrulamanın ve ISS'lere, posta hizmetlerine ve gönderenlerin e-posta gönderme konusunda gerçekten yetkili olduğu diğer alıcı posta sunucularına kanıtlamanın yoludur [6].

SPF ve DKIM daha geniş bir şekilde benimsenirken, DMARC potansiyel kimlik avı e-postalarını yakalamak için ciddi bir yol olsa da, yaygın olarak benimsenen bir politika değildir. Açık anahtar şifrelemesine dayanan kriptografisi

yavaş olduğundan hızlandıracak şifreleme yöntemlerinin bulunmasına ihtiyaç vardır.

İşbirlikçi modeller

Ortak çalışmaya dayalı spam filtreleme modelleme stratejilerinde bir mesaj başka bir kullanıcı tarafından alınır ve değerlendirilir. İşbirliğine dayalı modeller, bu kararların erken yakalanması, kaydedilmesi ve sorgulanması sürecini sergiler. Kriptografik hash, bulanık hash, dağıtılmış checksum clearinghouse (DCC), gri liste, DNS kara liste-beyaz liste ve sosyal güven temelli çözümler de işbirlikçi modeller arasındadır [5].

İmza tabanlı teknikler, bilinen her spam ileti için benzersiz bir özet imza değeri oluşturur. İmza oluşturma teknikleri, yasal bir e-posta iletilisinin, spam iletilisiyle aynı karma değere sahip olmasını istatistiksel olarak imkânsız hale getirir [7]. Message Digest 5 (MD5) kriptografik hash için yaygın seçeneklerden biri olsa da spam göndericiler, karma algoritmaları kırabilecek araçlar geliştirmede başarılıdırlar. Bu yüzden SHA-3 gibi güncel hash algoritmalarının kullanımı yaygınlaşmalıdır.

DCC fikri, e-posta alıcılarının aldıkları postaları karşılaştırabilmeleri durumunda, istenmeyen toplu postaları tanıyabilmek için ortaya atılmıştır. DCC bir iletilinin spam olup olmadığına karar vermez. Sadece bir iletilinin kaç kopyasının alındığını bildirir [8].

Gri liste yaklaşımı ise tanınmayan bir göndericiden gelen herhangi bir e-postayı geçici olarak reddeden bir spam önleme yöntemidir. Bu yöntemde açık problem ise, spam e-posta yeniden gönderilerek bu yaklaşım etkisiz kılınabilir [9].

DNS (Alan Adı Sunucusu) kara listesi merkezi bir veri tabanında spam oluşturucu olarak tanımlanan posta sunucusu IP'lerinin tutar. Spam, genellikle alan adları veya web sitelerine göre kara listeler oluşturularak tespit edilir [10]. Kara Listelerle ilgili sorunlar spam göndericilerin kaynak adresini sık sık değiştirmeleri ve kara liste güncelleme problemi [11].

Beyaz liste, yalnızca onaylanmış yasal yöneticiler tarafından yönetilen posta sunucularının bir listesini tutma veya iyi niyetli kullanıcılardan gelen içeriği kabul etme uygulamasıdır. Farklı organizasyonlar, kullanıcıları daha kolay

tanıyabilmek için kendi beyaz listelerine sahiptir [5]. Beyaz listeden olan bir sunucu spam gönderici durumuna dönüşebilir. Spam kaynaklarını listesini tutan Spamhaus projesi bu probleme çözüm olmaya çalışmaktadır.

Güvene duyarlı bir işbirliğine dayalı spam azaltma sisteminde e-posta sınıflandırma işlevselliği olmayan düğümlerin, bir ana bilgisayarın spam göndericisi olup olmadığını sorgulamasını sağlar [12]. Önerilen çerçeve tam olarak spam gönderen botları tanımlayamaz. Burada güven oluşturan ara sunucu sayısı artırılabilir.

İşbirlikçi modeller spam tespitinde etkili sonuçlar vermesine rağmen kriptografik özet ve bulanık özet fonksiyonlarının zayıf noktaları olabileceği, kara liste - beyaz liste veri tabanları güncelleme sorunu, güven belirleyen sunucuların bir şekilde pasifize olması ihtimali bu modellerin başarımlarına olan güveni sarsabilmektedir. Yukarıdaki problemi çözmek için literatürde kural tabanlı sezgisel filtreleme yaklaşımları ile düzenli ifade oluşturulması önerilmektedir.

Sezgisel filtreleme modelleri

Kural tabanlı olan statik spam e-posta filtrelemede düzenli ifade (regex) tabanlı filtre sistemleri sezgisel filtreleme modelleri olarak bilinirler. Bu yapıdaki kurallar çoğunlukla düzenli ifadeler kullanılarak geliştirilirler. Eşleşen kuralların her biri için puanlar hesaplanır. Hesap sonucunda elde edilen toplam değer, önceden belirlenmiş bir eşik değerinin üstünde olup olmadığı kontrol edilir ve ilgili e-postanın gerçekten spam olup olmadığına karar verilir [13].

Sezgisel sistemler hızlı ve kolaydır, ancak dolandırıcıların kural setini ele geçirmeleri durumunda, filtreleme sisteminden kaçınmak için kolayca mesaj oluşturabilirler. Burada kural setinin şifrelenmesinin çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Bu yöntemlerin yanında istenmeyen e-posta yakalamada daha etkili olan içeriğe bağlı yaklaşımlar da kullanılmaktadır.

İçeriğe dayalı yaklaşımlar

Bu sistemler öncelikle e-postanın gövdesinin veya içeriğinin incelenmesine dayanır. İçeriğe dayalı istenmeyen e-posta tespiti

yaklaşımlarında, üstbilgi veya alan adı bilgileri yerine e-postanın içeriğine en fazla önem verilir. Bunlar; içerik filtreleme sistemleri, bağlama duyarlı öneriler ve bulanık mantık tabanlı sistemlerdir.

Bu sistemlerde, ana bilgisayar mesajında bulunan metinlerdeki kalıpları bulmak için kapsamlı bir analiz yapılır, bunlar önceden tanımlanmış ve onaylanmış spam kalıplarıyla eşleştirilir ve bir puan kaydedilir. Puanlar eşik değeri ile karşılaştırıldıktan sonra spam veya spam değil kararı verilir [13]. Son derece etkili olmasına rağmen, sistem içerikte yazanları anlayamamaktadır. Yani gerçek amaçlanan mesaj ve tartışmanın arka planı dikkate alınmayabilir. Örneğin “virüs” kelimesi hakkında tartışma ve eğitsel mesajlar bulunan e-postanın spam olarak tanımlanması istenmeyen durumdur. İçeriğe dayalı filtreleme yaklaşımında bulunan bağlamsal sorunları ele almak için bağlam duyarlı çalışmalar yapılmıştır. Laorden vd., sözdizimsel ve iletilerdeki terimlerin temel anlamlarını açıklayabilmek için Word Sense Disambiguation (WSD) adında bir ön işleme adımı ekleyerek spam filtrelemede anlambilimin kullanımını araştırmıştır [14]. Uzun mesajlarda performans iyileştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bunun için bulanık mantık tabanlı öneriler getirilmekte olup bu yönde çalışmalar artırılmalıdır.

Yapay zekâ tabanlı olmayan diğer yaklaşımlar
Ülke tabanlı filtreleme, eşler arası altyapı diğer spam tespiti yaklaşımlarıdır. Bazı e-posta sunucuları çoğu zaman belirli ülkelerden gelen e-posta akışlarını tamamen engeller, çünkü belirli coğrafi sınırlar genellikle büyük bir spam kaynağıdır [15]. Dünya genelinde spam hacminin payı ile 2019'un 3. çeyreğinde istenmeyen e-postalar için önde gelen kaynak ülkelerin oranı Statista'ya göre 2019 yılında spam oluşturma oranlarında ilk üç sırayı alan ülkeler Çin, ABD ve Rusya olup sırasıyla %20.43, %13,37 ve %5,60 oranlarında spam oluşturmuşlardır. Türkiye %2,42 ile 8. en çok spam oluşturulan ülkelerdendir [16].

Literatürde Bitcoin işlemlerinde kullanılan benzer iş kanıtı kavramına dayanan 'Bitmessaging' olarak bilinen farklı yaklaşımlarda vardır. Bu yöntemler BitMessage eşler arası iletişim protokolüne dayanır ve tamamen merkezi

olmayan ve şifreli bir ağ kullanırlar. Bu tür yaklaşımı kullanan yöntemler, mevcut e-posta altyapısıyla henüz tam olarak uyumlu olmadığından, bazı ölçeklenebilirlik sorunları vardır [17]. Bu yüzden bu yöntem için farklı algoritmalar ve teknikler geliştirilmeye ihtiyaç vardır.

Şimdiye kadar açıklanan yapay zekâ tabanlı olmayan istenmeyen elektronik posta tespit sistemleri bağımsız yazılım programları olarak veya çevrimiçi tabanlı çözümler gibi farklı platformlarda kullanılabilen yaygın istenmeyen e-posta önleme çerçeveleridir. Bu çözümlerin yapay zekâ tabanlı sistemlerle birlikte kullanımı ile toplam gönderilen ve alınan istenmeyen e-posta sayısında önemli bir düşüş yaşanmıştır.

Yapay zekâ tabanlı olmayan sistemler bazı sunuculara tek başına çalıştığı, büyük sunuculara ise hem yapay zekâ tabanlı olmayan hem de yapay zekâ tabanlı olan sistemlerin birlikte çalıştığı bilinmektedir. Örneğin en büyük e-posta sunucularına sahip Google ve Microsoft SPF, DKIM, DMARC gibi yapay zekâ tabanlı olmayan sistemlerle makine öğrenmesi yöntemlerini birlikte kullanmaktadır. Fakat küçük çaplı sunuculara beyaz liste, kara liste, gri liste, içerik filtreleme yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu sistemlerin birlikte kullanılması yani melez yapıların kullanımı daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir. Yapay zekâ tabanlı olmayan sistemler tek başına istenmeyen e-postalara engel olamadığından yapay zekâ tabanlı sistemler üzerinde çalışmalar günümüzde yaygın hale gelmiştir.

Yapay zekâ tabanlı spam tespit sistemleri

İstenmeyen e-postaların tespitinde kullanılan klasik yöntemlerin büyük veriyi işlemedeki başarı oranlarının tıkanması sonucu yapay zekâ tabanlı yeni bir istenmeyen e-posta tespit alanı doğmuştur. Literatürde bu tür sistemler biyolojik ilhamlı zekâyaya dayalı, makine öğrenmesi temelli ve makine öğrenmesinin bir çeşidi olan derin öğrenme temelli sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Biyolojik zekâyaya dayalı sistemler

Genetik algoritma (GA), NSA ve PSO tabanlı sistemler biyolojik ilhamlı zekâyaya dayalı sistemlerdir.

Spam için genetik algoritma ile düzenli ifade (regex) filtreleri geliştiren ve spam ve spam olmayanlar arasında ayırım yapan bazı testleri %94'ün üzerinde doğrulukla bulmasına rağmen bu tür yöntemler Fitness fonksiyonu her çalıştırıldığında, her mesajı incelemek zorunda kaldıkları için oldukça yavaştır [18]. Negatif Seçim Algoritması (NSA) ile Gerçek Pozitif ve Gerçek Negatif tespit oranının % 6 oranında artıran, %98.5 doğrulukla spam tespiti yapan bir yöntemler de vardır [19]. Ancak bu yöntemde veri sözlüğündeki kelimeler GA ile belirtilmeyen bir performans metriği ile test edilmiş olup yöntemin performansı genellikle standart diğer çalışmalarla karşılaştırılmamıştır [20, 21].

Bu çalışmalardaki temel problemler kullanılan veri kümelerinin çok küçük olması olup büyük veri temelli derin öğrenme kullanan yöntemler ile karşılaştırmak olası değildir. Ayrıca makine öğrenmesi algoritmalarına kıyasla biyolojik

temelli yapay zekâya dayalı algoritmalarında spam tespitinde kullanılmasının performans açısından çok fazla kazanç sağlamadığı aksine düşük performans gösterdikleri görülmektedir.

Makine öğrenmesi temelli sistemler

Yapay sinir ağları (ANN), naïve bayes, bayes karar ağacı, rastgele orman, lojistik regresyon, destek vektör makinesi (DVM), adaboost, k-en yakın komşu (kNN) istenmeyen e-posta tespitinde en çok kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarıdır. K-ortalama kümeleme, kendini düzenleyen harita tabanlı öneriler (SOM), temel bileşen analizi (PCA) tabanlı çerçeveler, birliktelik tabanlı öneriler de az da olsa kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi tekniği kullanan çok sayıda spam tespit yöntemi, bunların kullandığı veriler ve spam tespit algoritmalarının performansları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Makine öğrenmesi tabanlı istenmeyen e-posta tespit sistemleri

Çalışmanın Adı	Kullanılan Veri kümesi	Kullanılan Yöntem /Başarısı En Yüksek Yöntem	Kullanılan Performans Metrikleri ve En Yüksek Değerleri (%)	Yöntemin Türü (Bilinen/ Yeni/ Melez)
Zhao ve Zhang. 2005 [22]	1518 adet e-posta içeren TE 943	Kaba Küme (RS), Naïve Bayes (NB) / RS	Doğruluk: 97.37 Hassasiyet: 86.58 Hatırlama: 96.99	Yeni
Altunyaprak. 2006 [23]	767'si spam olan 2387 adet Türkçe e-posta	Bayes	Hassasiyet: 84 Hatırlama: 93.2	Yeni
Norte Sosa. 2010 [24]	2200 e-posta	YSA	Doğruluk: 96.1	Yeni
Yumak. 2011 [25]	100 adet e-posta	Bulanık Mantık (BM), NB, / NB	Doğruluk: 81.8	Bilinen
Awad ve ELseuofi. 2011 [26]	SpamAssassin	Bayes, kNN, YSA, DVM, Yapay Bağışıklık Sistemi (AIS) ve RS / NB	Doğruluk: 99.46 Hassasiyet: 99.66 Hatırlama: 98.46	Bilinen
İdris ve Muhammed. 2012 [27]	Spambase	AIS	FP: 1.2	Bilinen
Bhagyashri ve Pratap. 2013. [28].	SpamAssassin	Bayes	Doğruluk: 90 Hassasiyet: 82.35 Hatırlama: 93.33	Bilinen
Ateş. 2014. [29]	Ergin vd. [30] tarafından oluşturulan 800 Türkçe e-posta veri kümesi ve İngilizce Lingspam_public veri kümesi	DVM, Gauss Karışım Modeli (GKM), NB. / Türkçe veri kümesinde NB, / İngilizce veri kümesinde doğrusal DVM	Doğruluk: 99 Doğruluk: 98.6	Bilinen
Sharma vd. 2014. [31]	TREC07	MLP, NB / MLP	Doğruluk: 93 Hatırlama: 93.2	Bilinen

			Hassasiyet: 93	
Karthika ve Visalakshi. 2015. [32]	Spambase	kNN, NB, DVM ve Hibrid ACO-DVM / ACO-DVM	Doğruluk: 81.25 Hassasiyet:87.02 Hatırlama: 75.1	Yeni ve Melez
Renuka vd. 2015. [33]	Spambase	GA-Naïve Bayes, ACO-Naïve Bayes / ACO-Naïve Bayes	Doğruluk: 84 Hassasiyet: 89 Hatırlama: 78 F-ölçütü: 87	Yeni ve Melez
Tuteja ve Bogiri, 2016. [34]	100 spam olmak üzere 200 adet e-posta	K-ortalama Geri yayımlı Sinir Ağı (BPNN)	Hassasiyet: 98.42 Hatırlama: 93.5	Melez
Palanisamy vd. 2016. [35]	Lingspam	Negatif Seçim Algoritması (NSA) kullanan PSO, DVM, NB, DFS-DVM / Negatif Seçim Algoritması (NSA) kullanan PSO	Doğruluk: 93.2	Melez
Zavvar vd. 2016. [36]	Spambase	PSO, SOM, k-ortalama, DVM / DVM	AUC: 93.07	Bilinen
Foqaha. 2016. [37].	Spambase	RBF, MLP ve YSA ve melez HC-RBFPSO / MLP	Doğruluk: 93.28	Melez
Sharma ve Suryawanshi. 2016. [38].	Spambase	Bayes, KNN, DVM / KNN	Doğruluk: 97.54 Hassasiyet: 97.72 Hatırlama: 93.52 F-ölçütü: 95.6	Bilinen
Alkaht ve Al Khatib. 2016. [39].	CSDMC 2010, SpamAssassin, Tarassul	Kendi kendini organize eden Küresel Sıralama Haritası ve İleri besleme algoritmalarının birleşimi ile Several Stage Neural Network (SNN)	Doğruluk: 95.40 Hassasiyet: 99.45 Hatırlama: 91.28 F-ölçütü: 95.19	Yeni
Rajamohana vd. 2017 [40].	Ott vd.[41] tarafından oluşturulan veri kümesi	Naïve Bayes Uyarlanabilir İkili Çiçek tozlaşma algoritması (ABFPA)	Doğruluk: 91.42	Yeni
Akinyelu ve Adevumi. 2017 [42].	2000 kimlik avı ve normal e-posta	Rastgele Orman (RF)	Doğruluk: 99.7 Hassasiyet: 99.47 Hatırlama: 97.5 F-ölçütü: 98.45	Bilinen
Yıldız. 2017. [43].	310 adet Türkçe e-posta	NB, DVM, YSA, Adaboost, J48, JRIP / Çok Terimli NB	Doğruluk: 96.31 Hassasiyet: 91 Hatırlama: 100 Kappa: 94	Bilinen
Şahin. 2018. [44].	55888 e-posta	12 klasik makine öğrenmesi algoritması / Naïve Bayes Kernel ve Doğrusal SVM	Doğruluk: 99.89 F-ölçütü: 99.81	Bilinen
Kale. 2018. [45].	Louis Dorard'ın 2013 yılında kendine ait 4.709 adet e-posta	Karar Ağaçları, Derin öğrenme, Gradient Boosted Tree (GBT), kNN, NB, RF ve Lojistik Regresyon / Çok terimli NB	Doğruluk: 95.5 Hassasiyet: 100 Hatırlama: 91 F-ölçütü: 95.8	Bilinen
Nazlı. 2018. [46].	Enron (300 e-posta)	DVM (Poly)	Doğruluk: 98.33	Bilinen
Al-Azzawi. 2018. [47].	Spambase	Kaotik ateş böceği algoritmasına dayanan sarmal öznetelik seçimli NB	Doğruluk: 95.14	Yeni
Salihi. 2019. [48].	355 spam gönderici olan 1183 Twitter'dan elde edilen veri kümesi	NB, J48, IBK, RF / RF	Doğruluk: 92.95 Hassasiyet: 92 Hatırlama: 88 F-ölçütü: 89	Yeni

Tablo 1 incelendiğinde veri kümesinin az olduğu spam tespit çalışmalarında başarımlarının yüksek çıktığı [23, 29, 34,43-46], Spambase açık veri kümesi üzerinde makine öğrenmesi tekniklerinin yoğunlaştığı [27, 32, 33, 36-38, 40, 47], doğruluk, hassasiyet, hatırlama performans metriklerinin yanında, F-ölçütünün de kullanıldığı görülmüştür [33, 38, 39, 44, 45, 48].

MLP, YSA'ya dayanan spam tespit algoritmalarında [26, 31, 37, 39] model eğitimlerinin zaman aldığı, Bayes, Naïve Bayes, DVM, YSA ve melez yaklaşımların başarımlarının ise yüksek olduğu tespit edilmiştir [22-26, 28, 29, 33, 35, 36, 43-47].

%99 civarı başarımlarını veren çalışmalarda veri kümelerinde bulunan e-posta sayılarının az olduğu görülmektedir [26, 29, 42]. N-gram ve Kelime Kümesi tekniği ile 50 özellik seçiminde veri kümesi fazla olsa da başarımlarının yüksek çıktığı görülmüştür [44]. SpamAssassin veri kümesini kullanan [26] nolu çalışmada 100 özellik üzerinden NB algoritması değerlendirme yapıldığında %99.46 başarımlar elde edilmiştir.

Görece daha küçük veriler üzerinde çalışan sistemlerde daha iyi çalışan DVM, Bayes, RF, MLP, YSA gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmalıdır. Melez olarak farklı algoritma, öznelik ve özellik seçimlerinin bir arada kullanıldığı makine öğrenmesi çalışmalarında genel olarak başarımların artacağı görülmektedir. Makine öğrenmesinin her aşamasında (öznelik, özellik seçimi, doğal dil işleme, eğitim vb.) en iyi sonuçları veren yöntemlerin bir arada kullanılması daha başarılı sonuçlar üretecektir.

Yukarıdaki çalışmalardan daha anlamlı sonuçlar çıkarmak için daha büyük e-posta veri kümelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca farklı performans ölçütlerinin spam algoritma performanslarını değerlendirirken bir arada kullanılmasının gerekli

olduğu düşünülmektedir. Büyük veri ve son yıllarda merkezi işlemci biriminin (CPU) yanında grafik işlemci birimlerinin (GPU) hesaplama güçlerinin artmasıyla birlikte derin öğrenme tekniklerinin kullanımı daha yüksek başarımlar sonuçlar vermektedir.

Derin öğrenme temelli sistemler

Derin öğrenmede öznelik ve özellik seçimini bir yöntem belirlemeden gizli sınır ağlarında yapılmaktadır. Normal ve istenmeyen etiketli veri kümesinde bulunan veriler veri vektörlerine dönüştürülerek, elde edilen bu veri kümesi eğitim ve test bölümlerine ayrılır. Kullanılacak derin öğrenme katmanları ile model eğitilir. Eğitimden sonra, sistemin performansı test kümesi adı verilen farklı bir dizi örnek üzerinde ölçülür. Derin öğrenme klasik yapay öğrenme yani makine öğrenmesi algoritmalarının yetersiz kaldığı bazı durumlarda insan performansına yakın çıktılar elde edilmesini sağlayabilmektedir. Geleneksel makine öğrenme teknikleri, doğal verileri ham formlarında işleme yetenekleriyle sınırlıdır. Derin öğrenmenin en önemli özelliği, özellik katmanlarının insanlar tarafından tasarlanmamasıdır.

Derin öğrenme, çoklu soyutlama seviyelerine sahip verilerin gösterimini öğrenmek için çoklu işleme katmanlarından oluşan hesaplama modellerine izin verir. Tipik bir derin öğrenme sisteminde, makineyi eğitmek için yüz milyonlarca ayarlanabilir ağırlık ve yüz milyonlarca etiketli örnek olabilir.

Literatürde derin öğrenme ile istenmeyen e-posta tespiti üzerine çalışmalar da görülmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan veri kümeleri, en başarılı yöntemler, kullanılan performans metrikleri, yöntemin türü, tespit algoritmalarının performansları, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Derin öğrenme tabanlı istenmeyen e-posta tespit çalışmaları

Çalışmanın Adı	Kullanılan Veri kümesi	Kullanılan Yöntem /Başarısı En Yüksek Yöntem	Kullanılan Performans Metrikleri ve En Yüksek Değerleri (%)	Yöntemin Türü (Bilinen /Yeni/ Melez)
Tyagi. 2016 [49]	PU1, PU2, PU3, PUA ve Enron-Spam	Yoğun MLP, Stacked Denoising Autoencoder, (SDAE), Derin İnanç Ağı (DBN) / DVM, SDAE	Doğruluk: 96.21 Hassasiyet: 96.78 Hatırlama: 95.57 F-ölçütü: 96.17	Bilinen

Shang ve Zhang. 2016 [50]	52934 görüntü içeren yeni bir spam veri kümesi	Tahmin Katmanında DVM kullanan CNN	Doğruluk: 82	Yeni ve Melez
Roy vd. 2016 [51]	Spambase	Derin DVM, YSA, DVM / Derin DVM	Doğruluk: 92.8 Hassasiyet: 91.4 Hatırlama: 89.9 F-ölçütü: 90.7 AUC: 97.3	Yeni
Seth ve Biswas. 2017 [52]	Toplanan 1521'den fazla spam resim ve Enron metin veri kümesi	Görüntü CNN, Metin CNN, Çoklu Öğrenme Modeli / Çoklu Öğrenme Modeli	Doğruluk: 98.11 F-ölçütü: 98	Yeni ve Melez
Yawen vd. 2018 [53]	Spambase	Derin Sınır Ağları (DNN), Naïve Bayes / DNN	Doğruluk: ~90	Bilinen
Ra vd. 2018 [54]	IWSPA-AP 2018	CNN, RNN, LSTM, MLP / Kelime Yerleştirme (Word Embedding) + LSTM	Doğruluk 99.1	Melez
Bagui vd. 2019 [55]	3416'sı kimlik avı e-postası olan 18366 etiketli e-posta veri kümesi	Naïve Bayes, DVM, Karar Ağacı, LSTM, CNN ve Kelime Yerleştirme / Kelime Yerleştirme	Doğruluk: 98.89	Bilinen
Yang vd. 2019 [56]	Enron, Personal Image, Spam Archive	LSTM ve CNN	Doğruluk: 98.48 Hatırlama: 98.52 Hassasiyet: 98.52 F-ölçütü: 98.45	Yeni ve Melez
Jain vd. 2019 [57]	SMS Spam ve Twitter spam veri kümesi	DVM, Naïve Bayes, ANN, k-NN, RF, LSTM / LSTM	Doğruluk: 99.01 Hatırlama: 99.35 Hassasiyet: 98.74 F-ölçütü: 99.24	Yeni
Nagisetty ve Gupta. 2019 [58]	UNSW-NB15 ve NSL-KDD99	MLP, CNN, DNN, Otomatik Kodlayıcı / DNN ve MLP	Doğruluk(DNN): 99.24 F-ölçütü(MLP): 99.28 RMSE(DNN): 0.4	Bilinen
Roy vd. 2020 [59]	747 spam ve 4.827 normal SMS veri kümesi	NB, RF, GB, LR, LSTM, SGD / CNN	Doğruluk: 99.44 Hatırlama: 99.8 Hassasiyet: 99.6 F-ölçütü: 99.8 AUC: 97.7	Bilinen

Tablo 2 dikkatli bir şekilde incelendiğinde, Spam tespiti için derin öğrenme ile açık veri kümelerinde test yapılmasının yanı sıra, araştırmacılarının kendisinin bir araya getirdiği veri kümeleri de [50, 52, 55, 59] de kullanılmıştır.

Önerilen yöntemlerde genel olarak LSTM ve CNN algoritmaları [50, 52, 54, 56-59], performans metriği olarak da genellikle Doğruluk, Hatırlama, Hassasiyet ve F-ölçütü metrikleri [49, 51, 56, 57, 59] kullanılmakla birlikte AUC [51, 59], RMSE [58] ölçütlerinin de çeşitli çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Sadece metin içeren veri kümeleri [49, 51, 54, 53, 57], olduğu gibi spam resim içeren veri kümeleri

[50, 52, 56] ile de çalışılmıştır. Genel olarak metin içeren veri kümelerinde LSTM algoritması [54, 57] ile daha yüksek başarımlar elde edilirken resim içeren veri kümelerinde CNN algoritmasının başarımları [50, 52] daha yüksektir. Dengesiz veri kümesi kullanılan bir çalışmada CNN, LSTM'den daha iyi başarımlar sonucu vermektedir [59]. Ayrıca melez spam tespit yöntem yaklaşımlarının tespit algoritmalarının başarımlarını artırdığı görülmektedir [54, 56]. %99 civarı başarımlar veren çalışmalarda [54-59] LSTM, CNN, Kelime Yerleştirme, DNN ve MLP teknikleri kullanılmıştır.

Metin içeren veri kümelerinde LSTM, görüntü içeren veri kümelerinde CNN algoritmasının için daha etkili olduğu, melez yaklaşımların yüksek başarımlara ulaşabildiği, bazı veri kümelerinde DNN ve MLP algoritmalarının daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Klasik makine öğrenme algoritmaları ile derin öğrenme algoritmalarının başarımını karşılaştıran çalışmalar dikkate alındığında, derin öğrenme algoritmalarının daha yüksek başarımları ile spam tespit ettiği anlaşılmaktadır [51, 53, 57-59].

Derin öğrenme temelli sistemlerle, makine öğrenmesindeki çalışmalar özellikle mühendisliğinden ziyade model ve mimari mühendisliğine evrilmiştir. Elimizde çok küçük veri kümesi varsa problem derin öğrenme ile çözümü çok uygun olmamaktadır. Derin öğrenme modelinde bulunan hiper parametrelerin kendini en iyi sonucu verecek şekilde çalışılan modele güncelleyebilecek yapılar oluşturulması düşünülebilir.

Sonuçlar

Literatürde zamanla geliştirilen spam algılama sistemlerinin açık problemleri tespit edilmiş bunlarla ilgili çözüm önerileri getirilmiştir.

İstenmeyen e-posta tespitinde zamanla başarılı yöntemlerin sayısı artmış ancak bunların çoğu, spam gönderenlerin sürekli olarak spam oluşturma şeklini değiştirmesiyle etkinliğini yitirmiştir. Bu durum sürekli gelişen spam tespit yöntemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Önceleri yapay zekâ tabanlı olmayan yöntemler etkili iken günümüzde makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının artması ve iyileştirilmesi ile istenmeyen e-posta tespitinde yapay zekâ tabanlı sistemler daha çok kullanılır hale gelmiştir.

Literatürde yapay zekâ tabanlı olan sistemler ile birlikte yapay zekâ tabanlı olmayan spam tespit sistemleri birlikte kullanılmaktadır. İşlemci gücünün ile birlikte grafik işlem birimlerinin kapasitelerinin artmasıyla makine öğrenmesi tekniklerinin yanında derin öğrenme yöntemleri de istenmeyen elektronik posta tespitinde daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Mevcut hesaplama ve veri miktarındaki artışları kolayca tolere edebilen derin öğrenmeye dayalı yöntemlerin gelecekte spam e-posta tespitinde

daha da başarılı olacağı düşünülmektedir. Derin sinir ağlarının şuanda geliştirilmekte olan yeni öğrenme algoritmaları ve mimariler ile birlikte bu ilerlemeyi daha da hızlandıracak kolayca tahmin edilebilmektedir.

Derin öğrenme uygulamalarında veri kümesinin büyüklüğü ve çeşitliliği öğrenme için en önemli etmendir. Veri kümemiz ne kadar büyük olursa öğrenme o oranda iyi olacaktır Büyük veri olan sistemlerde derin öğrenme yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir.

Birçok kullanıcı cihazdaki tüm e-postalarına erişmeyi tercih etmekte olup kullanıcı davranışı göz önünde bulundurularak kullanıcıya özel olarak tasarlanmış bir spam filtresi düşünülmesi de gerekmektedir.

Bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılar için mevcut problemlerden en önemlisi, Türkçe e-postaları içeren veri kümelerinin az veri içermesi ve yetersiz sayıda olmasıdır. Türkçe spam içeren veri kümelerinin oluşturulması birçok araştırmacıya çalışmalarında kolaylık sağlayacaktır.

Akıllı telefonların piyasaya girmesiyle ortaya çıkan mesajlaşma uygulamaları her ne kadar fazla olsa da e-postaların kullanımına uzunca bir süre daha devam edileceği aşikârdır. E-postaların kolay, ucuz, internete bağlı her cihazdan erişilebilir olması reklam amaçlı veya kötü niyetli internet kullanıcıları için kaynak olmaya devam edecektir. İstenmeyen e-postaların ayrıştırılması için makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli yeni yöntemler geliştirilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Campaignmonitor. 2019. The Shocking Truth about How Many Emails Are Sent. <https://www.campaignmonitor.com/blog/email-marketing/2019/05/shocking-truth-about-how-many-emails-sent/> (Erişim Tarihi: 22.02.2020).
- [2] Statista. 2020. Number of e-mail users worldwide from 2017 to 2023. <https://www.statista.com/statistics/255080/number-of-e-mail-users-worldwide/> (Erişim Tarihi: 22.02.2020).
- [3] Bauer, E. 2018. 15 Outrageous Email Spam Statistics that Still Ring True in 2018. <https://www.propellercrm.com/blog/email-spam-statistics>. (Erişim Tarihi: 22.02.2020).
- [4] Statista. 2019. Global e-mail spam rate from 2012 to 2018.

- <https://www.statista.com/statistics/270899/global-email-spam-rate/> (Erişim Tarihi: 28.02.2020).
- [5] Karim, A., Azam, S., Shanmugam, B., Kannoorpatti, K., & Alazab, M. 2019. A Comprehensive Survey for Intelligent Spam Email Detection. *IEEE Access*, Access, IEEE, 7, 168261–168295. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2954791>
- [6] Ruef, M., & Young, E. 2019. Securing Email of your own Domain - SPF, DKIM and DMARC. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.10145189>
- [7] Geerthik, S., & Anish, T. P. 2013. Filtering spam: Current trends and techniques. *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology Austrian E-Journals of Universal Scientific Organization*, 3, 208-223.
- [8] Gansterer, W., Ilger, M., Lechner, P., Neumayer, R., & Strauß, J. 2005. Anti-spam methods-state of the art. *Institute of Distributed and Multimedia Systems, University of Vienna*, 28, 29.
- [9] Bajaj, K. S., Egbufor, F., & Pieprzyk, J. 2011. Critical analysis of spam prevention techniques. In *2011 Third International Workshop on Security and Communication Networks (IWSCN)* (pp. 83-87). IEEE.
- [10] Chiba, D., Akiyama, M., Yagi, T., Hato, K., Mori, T., & Goto, S. 2018. DomainChroma: Building actionable threat intelligence from malicious domain names. *Computers & Security*, 77, 138-161.
- [11] Ramachandran, A., Feamster, N., & Vempala, S. 2007. Filtering spam with behavioral blacklisting. In *Proceedings of the 14th ACM conference on Computer and communications security* (pp. 342-351).
- [12] Lin, P. C., Lin, P. H., Chiou, P. R., & Liu, C. T. 2013. Detecting spamming activities by network monitoring with Bloom filters. In *2013 15th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT)* (pp. 163-168). IEEE.
- [13] Khanna, S., Chaudhry, H., & Bindra, G. S. 2012. Inbound & Outbound Email Traffic Analysis and Its SPAM Impact. In *2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks* (pp. 181-186). IEEE.
- [14] Laorden, C., Santos, I., Sanz, B., Alvarez, G., & Bringas, P. G. 2012. Word sense disambiguation for spam filtering. *Electronic Commerce Research and Applications*, 11(3), 290-298.
- [15] Hu, Y., Guo, C., Ngai, E. W. T., Liu, M., & Chen, S. 2010. A scalable intelligent non-content-based spam-filtering framework. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8557-8565.
- [16] Statista. 2019, Aralık. <https://www.statista.com/statistics/263086/countries-of-origin-of-spam/>. (Erişim Tarihi: 29.02.2020).
- [17] Bradbury, D. 2014. Can we make email secure?. *Network Security*, 2014(3), 13-16.
- [18] Greenstadt, R., & Kaminsky, M. 2002. Evolving Spam Filters Using Genetic Algorithms. *Technical Report 3836*. Massachusetts Institute of Technology.
- [19] Saleh, A. J., Karim, A., Shanmugam, B., Azam, S., Kannoorpatti, K., Jonkman, M., & Boer, F. D. 2019. An intelligent spam detection model based on artificial immune system. *Information*, 10(6), 209.
- [20] Shrivastava, J. N., & Bindu, M. H. 2013. E-mail classification using genetic algorithm with heuristic fitness function. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, 4(8), 2956-2961.
- [21] Choudhary, M., & Dhaka, V. S. 2013. Automatic E-mails classification using genetic algorithm. In *Special Conference Issue: National Conference on Cloud Computing and Big Data* (pp. 42-49).
- [22] Zhao, W., & Zhang, Z. 2005. An email classification model based on rough set theory. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Active Media Technology, 2005.(AMT 2005)*. (pp. 403-408). IEEE.
- [23] Altunyaprak, C. 2006. Bayes yöntemi kullanarak istenmeyen elektronik postaların filtrelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [24] Norte Sosa, J. 2010. Spam Classification Using Machine Learning Techniques-Sinespam (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [25] Yumak, B. 2011. Elektronik postaların ayrıştırılmasında Naïve bayesian ve Bulanık Mantık yöntemlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, 97, Ankara.
- [26] Awad, W. A., & ELseuofi, S. M. 2011. Machine learning methods for spam e-mail classification. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, 3(1), 173-184.
- [27] Idris, I., & Abdulhamid, S. M. 2014. An improved AIS based e-mail classification technique for spam detection. *arXiv preprint arXiv:1402.1242*.
- [28] Bhagyashri, G., Pratap, H., & Patil, D. Y. 2013. Auto E-mails classification using bayesian filter. *International Journal of Advanced technology & Engineering Research*, 3(4).
- [29] Ateş, N. 2014. Destek vektör makineleri ve Gauss karışım modeli ile istenmeyen e-postaların tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57, Samsun.
- [30] Ergin, S., Sora Gunal, E., Yigit, H., & Aydin, R. 2012. Turkish anti-spam filtering using binary and probabilistic models. *Global Journal on Technology*, 1.
- [31] Sharma, A. K., Prajapat, S. K., & Aslam, M. 2014. A comparative study between naïve Bayes and neural network (MLP) classifier for spam email detection. *Int. J. Comput. Appl.*
- [32] Karthika, R., & Visalakshi, P. 2015. A hybrid ACO based feature selection method for email spam classification. *WSEAS Trans. Comput.*, 14, 171-177.
- [33] Renuka, D. K., Visalakshi, P., & Sankar, T. 2015. Improving E-mail spam classification using ant colony optimization algorithm. *Int. J. Comput. Appl.*, 22-26.
- [34] Tuteja, S. K. and Bogiri, N. 2016. Email Spam filtering using BPNN classification algorithm. 2016 International Conference on Automatic Control and

- Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), IEEE, 915-919.
- [35] Palanisamy, C., Kumaresan, T., & Varalakshmi, S. E. (2016). Combined techniques for detecting email spam using negative selection and particle swarm optimization. *Int. J. Adv. Res. Trends Eng. Technol.*, 3.
- [36] Zavvar, M., Rezaei, M., & Garavand, S. 2016. Email spam detection using combination of particle swarm optimization and artificial neural network and support vector machine. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 8(7), 68.
- [37] Foqaha, M. A. M. 2016. Email spam classification using hybrid approach of RBF neural network and particle swarm optimization. *International Journal of Network Security & Its Applications*, 8(4), 17-28.
- [38] Sharma, A., & Suryawanshi, A. 2016. A novel method for detecting spam email using KNN classification with spearman correlation as distance measure. *International Journal of Computer Applications*, 136(6), 28-35.
- [39] Alkaht, I. J., & Al-Khatib, B. 2016. Filtering SPAM Using Several Stages Neural Networks. *Int. Rev. Comp. Softw.*, 11, 2.
- [40] Rajamohana, S. P., Umamaheswari, K., & Abirami, B. 2017. Adaptive binary flower pollination algorithm for feature selection in review spam detection. In 2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT) (pp. 1-4). IEEE.
- [41] Ott Myle, Choi Yejin, Cardie Claire, T. Hancock Jeffrey, "Finding deceptive opinion spam by any stretch of imagination", *ACM Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, vol. 1, pp. 309-319, 2011.
- [42] Akinyelu, A. A., & Adewumi, A. O. 2014. Classification of phishing email using random forest machine learning technique. *Journal of Applied Mathematics*, 2014.
- [43] Yıldız, A. 2017. Kurumsal e-posta sınıflandırma sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 82, Ankara.
- [44] Şahin, E. 2018. Makine öğrenme yöntemleri ve kelime kümesi tekniği ile istenmeyen e-posta / e-posta sınıflaması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 60, Ankara.
- [45] Kale, B. 2018. Veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları ile e-posta önemliliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120, Adana.
- [46] Nazlı, N. 2018. Analysis of machine learning – based spam filtering techniques. Yüksek Lisans Tezi, Çankaya University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, 79, Ankara.
- [47] Al-Azzawi, F. 2018. Wrapper feature selection approach for spam e-mail filtering. Master Thesis, Erciyes University Graduate school of natural and applied science, Kayseri.
- [48] Salihi, A. K. A. 2019. Spam detection by using word-vector learning algorithm in online social networks. Master Thesis, Firat University Graduate school of natural and applied sciences institute, 46, Elazığ.
- [49] Tyagi, A. 2016. Content Based Spam Classification- A Deep Learning Approach (Master's thesis, Graduate Studies).
- [50] Shang, E.-X. and Zhang, H.-G. 2016. Image spam classification based on convolutional neural network. 2016 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), IEEE, 398-403.
- [51] Roy, S. S., Sinha, A., Roy, R., Barna, C. and Samui, P. 2016. Spam Email Detection Using Deep Support Vector Machine, Support Vector Machine and Artificial Neural Network. *International Workshop Soft Computing Applications*, Springer, 162-174.
- [52] Seth, S. and Biswas, S. 2017. Multimodal Spam Classification Using Deep Learning Techniques. 2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), IEEE, 346-349.
- [53] Yawen, W., Fan, Y. and Yanxi, W. 2018. Research of Email Classification based on Deep Neural Network. 2018 Second International Conference of Sensor Network and Computer Engineering (ICSNCE 2018), Atlantis Press.
- [54] Ra, V., HBa, B. G., Ma, A. K., KPa, S., Poornachandran, P. and Verma, A. 2018. DeepAnti-PhishNet: Applying deep neural networks for phishing email detection. *Proc. 1st AntiPhishing Shared Pilot 4th ACM Int. Workshop Secur. Privacy Anal. (IWSPA)*, Tempe, AZ, USA, 1-11.
- [55] Bagui, S., Nandi, D., Bagui, S. and White, R. J. 2019. Classifying Phishing Email Using Machine Learning and Deep Learning. 2019 International Conference on Cyber Security and Protection of Digital Services (Cyber Security), IEEE, 1-2.
- [56] Yang, H., Liu, Q., Zhou, S. and Luo, Y. 2019. A Spam Filtering Method Based on Multi-Modal Fusion. *Applied Sciences*, 9:6, 1152.
- [57] Jain, G., Sharma, M. and Agarwal, B. 2019. Optimizing semantic LSTM for spam detection. *International Journal of Information Technology*, 11:2, 239-250.
- [58] Nagisetty, A. and Gupta, G. P. 2019. Framework for Detection of Malicious Activities in IoT Networks using Keras Deep Learning Library. 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), IEEE, 633-637.
- [59] Roy, P. K., Singh, J. P. and Banerjee, S. 2020. Deep learning to filter SMS Spam. *Future Generation Computer Systems*, 102, 524-5



Analyzing of Usage Effect of the Distribution Functions for SMDO Algorithm via Benchmark Function with Matlab Toolbox

Mehmet Akpamukcu^{1,*}, Abdullah Ates²

¹ Inonu University Computer Engineering Department ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3763-5048>

² Inonu University Computer Engineering Department, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4236-6794>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 Nisan 2020
Received in revised form 29 June 2020
Accepted 9 July 2020
Available online 30 September 2020

Keywords:

SMDO, optimization, stochastic, benchmark functions, distribution functions

Doi: [10.24012/dumf.721670](https://doi.org/10.24012/dumf.721670)

ABSTRACT

This paper presents solution comparisons of benchmark functions by using stochastic multi-parameters divergence (SMDO) method with different distribution functions. Using benchmark functions is an important method in measuring the effectiveness of algorithms. Because benchmark functions are used by all algorithm producers while trying their algorithms and this provides a good tool for the others to compare their algorithms with similar procedures. Benchmark functions are used in this paper for the main purpose of analyzing randomization process. It is known that distribution functions take place a vital role in getting random numbers. These random numbers are used in stochastic methods through specifying step size. It is believed that a suitable random number acquisition process can support the search processes of algorithms. In this study the effects of distribution functions on benchmark functions are analyzed. For this purpose, a program is developed with MATLAB. The comparisons via the help of this program is shown in tabular form. The results are analyzed from the viewpoint of whether developing the randomization process makes contribution to problem solving power of algorithms. In this study SMDO algorithm is analyzed with different distribution functions by using different benchmark functions. In addition, in the study, a useful friend-friendly Matlab toolbox is proposed in which SMDO algorithm can be tested over different benchmark functions according to different distribution functions. (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/75044-smdo-with-distribution-function-for-benchmarking>)

* Corresponding author

Abdullah Ates



abdullah.ates@inonu.edu.tr

Introduction

Engineering problems can be solved by stochastic or analytical methods depending on the nature of the problem. Analytical methods are used if the mathematical model and constraints of the related problem are fully known. [1], [2]. However, if the problem model and its constraints are not known, numeric methods are used. [3], [4]. In addition, in some cases, it is necessary to use semi-analytical and semi-numerical methods, which include both analytical and numerical structures. [5], [6].

However, the real world engineering problems generally cannot be solved with pure analytic methods. Because sometimes the known parameters are inadequate or there can be distortions which change the dynamics of the problem. Numerical methods search the solution space of the problem with a disciplined way.

Numerical optimization algorithms can actually be examined in two groups. These are stochastic and deterministic methods. There are many subtitles in the related main headings. In general, stochastic and metaheuristic methods are preferred for solving engineering problems in the literature. Because algorithms in this structure can easily solve the uncertainties in engineering problems. Fire fly [7], flower pollination [8], forest optimization [9] can be shown as example for the stochastic optimization algorithms. Tabu search [10], [11] bat inspired [12], harmony search [13] can be shown as example for the metaheuristic optimization algorithms. Especially in recent years, an extremely important increase has been in the use of algorithms inspired by nature. [14], [15].

However, instead of recommending new nature-inspired algorithms, analytical approaches must be found to mathematically improve algorithms which are inspired from nature. Because there can be an infinite approximate method can have inspired from our living environment world. Therefore, in addition to proposing new algorithms, structures that will improve the performance of existing numerical, stochastic optimization algorithms should be proposed. Thus, the SMDO method, which is one of the numerical methods, is in our focus to analyze in this paper with using different distribution functions. It is a powerful algorithm

whose adequacy is proven in real engineering problems.

As it is known, SMDO algorithm makes random movements according to uniform distribution while scanning parameter vector spaces. The uniform distribution performs movements by using relative random values between [0-1]. At this point, there are many distribution functions in the literature. These distribution functions, which are analytic approaches with different mathematical backgrounds, can derive values such as uniform distribution. In this paper the SMDO method is selected to analyze this process. In the numerical optimization algorithms, it is well known that the random steps take a very important place in the process. But this randomization generally is made by uniform distribution. By analyzing this aspect of the algorithms, it is hoped that it can be opened new doors for us to strengthen our algorithms. It is believed that this issue can be realized by using appropriate distribution function in the algorithm. In this paper different distribution functions are analyzed with SMDO algorithm to make a clear perspective from this view. It is hoped that by specifying a relation between the algorithm and the distribution function will help in the process of making more analytical and strong random steps. In addition, a user-friendly Matlab toolbox where SMDO algorithm can be tested over different benchmark problems according to different distribution functions has been proposed in the study.

The rest of the paper is organized as follows; Section 2 presents the benchmark functions that we will use in this analysis. In Section 3; SMDO method is briefly explained and besides this its usage details are explained. In section 4, the solutions of different methods with different benchmark functions by using uniform distribution function are compared. In section 5, SMDO method is tried with different distribution functions by the help of different benchmark functions. In Section 6, SMDO Toolbox Program is introduced by the help of which SMDO can be tried with different benchmark functions and with different distribution functions. And finally in Section 7 includes the conclusion.

The Characteristics of Distribution Functions

As it is stated before, in this study the randomization process is aimed to be analyzed. At this point the random number acquisition process of the algorithms takes an important place. Generally, the random numbers are acquired through uniform distribution in stochastic algorithms. It is known that the characteristics of the random number acquisition process is specified by the used distribution function. To analyze this effect, four different distribution function is tried on SMDO algorithm. These are normal distribution, beta distribution, binomial distribution and extreme value distribution. The characteristics of these distribution functions are described below [16].

The normal distribution function is also called the Gaussian distribution function and it is a two-parameter family of curves. Normal distribution function is used for central limit theorem.[17]. Mathematical formulation of normal distribution probability density function (pdf) is given as follows:

$$y = f(x|\mu,\sigma) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right), \text{ for } x \in \mathbb{R} \quad (1)$$

where ‘ μ ’ stands for mean of the distribution; ‘ σ ’ stands for standard deviation of the distribution. The standard normal distribution function has zero mean and unit standard deviation.

Beta distribution function is a family of non-zero curves defined between 0 and 1. Mathematical formulation of beta distribution probability density function (pdf) is given as follows:

$$y = f(x|a,b) = \frac{1}{B(a,b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1} I_{[0,1]}(x) \quad (2)$$

where ‘ a ’ is the first shape parameter; ‘ b ’ is the second shape parameter. These parameters only affect the shape of the distribution and they do not have the effect of shifting or the stretching the distribution. In this formula $B(\cdot)$ is the Beta function and $I_{[0,1]}(x)$ stands for indicator function. This indicator function provides the nonzero probability between the range (0,1). [18].

Binomial distribution is the generalized version of Bernoulli distribution and it is a two-parameter family of curves. [19]. Mathematical formulation of binomial distribution probability density function (pdf) is given as follows:

$$y = f(x|N,p) = \binom{N}{x} p^x (1-p)^{N-x}; x=0,1,2,\dots,N \quad (3)$$

where ‘ x ’ is the number of successes in ‘ N ’ trials of a Bernoulli process with probability of success ‘ p ’. So ‘ N ’ stands for number of trials and ‘ p ’ stands for the probability of success in a single trial.

The extreme value distribution is generally used to model the largest and smallest value in randomly distributed sets. [20]. Mathematical formulation of extreme value distribution probability density function (pdf) is given as follows:

$$y = f(x|\mu,\sigma) = \sigma^{-1} \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (4)$$

In this formula ‘ μ ’ stands for the location parameter and ‘ σ ’ stands for the scale parameter. This form of probability density function can be used for modeling the minimum value. Negative of the original values can be used for modeling the maximum value.

Review of the SMDO Method and Usage of Distribution Function

SMDO algorithm is a stochastic optimization algorithm that works with the set and trial mechanism [21], [22]. In Figure 1 the pseudo code of the SMDO algorithm is given to visualize the algorithm.

The SMDO algorithm was first used in the integer-order controller design relative to the fractional-order reference model [21]. The SMDO algorithm was designed for fractional-order PID simulation models using a two-stage master slave approach. [22]. Later, SMDO algorithm was developed and fractional order controller design was realized for main and yaw rotors of TRMS system. [23]. In order to increase control performance by changing control structures in the system, many control structures with two degrees of freedom have been firstly fractional ordered and then fractional-order controllers are designed with

SMDO algorithm to these structures [24], [25]. A fractional order model structure was created by using the simple circuit model approach for the receptor ligands. [26]. In fact, a fractional order PID controller is designed for a basic simulation model to see the effect of some different distribution functions with the SMDO algorithm [27]. In this study, many different distribution functions were used for many different benchmark functions.

```

Start
Parameter Initialization
Distribution Function Selection
Starting Point
if  $E(X^k) > E_{min}$ 
Adaptation; Go to Adapted
    v = v + 1;
    if v > parameterCount
        v = 0;
    end
end
Create the Step Size with Selected Distribution Function
Compose  $\Delta X^k$ 
Forward test
Create the step size according to selected distribution function
if  $E(X^k + \Delta X^k) - E(X^k) < 0$ 
     $X^{k+1} = X^k + \Delta X^k$ 
    Go to Starting Point
end
Backward test:
Create the step size according to selected distribution function
if  $E(X^k + \Delta X^k) - E(X^k) < 0$ 
     $X^{k+1} = X^k - \Delta X^k$ 
    Go to Starting Point
end
Go to Starting Point
Adopted
end
End

```

Fig. 1. Pseudo code of SMDO Algorithm

Comparisons SMDO Algorithm Performance According to Different Distribution Functions

In this study, SMDO algorithm has been updated with 'Normal Distribution', 'Beta Distribution', 'Binomial Distribution' and 'Extreme Value Distribution' functions. The uniform distribution structure working in the system has been replaced with these distributions. Statistical analyzes were carried out to establish consistency of results during operation. The proposed SMDO algorithm has been run several times and the best value has been recorded. Using these best error values matrix, 1st statistical moment value (mean), 2nd statistical moment value (standard deviation), 3rd statistical moment (skewness) and 4th statistical moment (kurtosis) values were calculated. In fact, when making statistical analyzes, 1st and 2nd statistical

moments are generally used. In this study, the 3rd and 4th statistical moments are used in order to further understand the results and to make more analysis of the distribution function used. As it is known, skewness shows symmetry and kurtosis shows sharpness.

First of all, the SMDO algorithm is well equipped to find much better values for related benchmark functions with much iteration. However, in this study, multiple analyzes were made by taking iteration numbers less. In this study it is not intended to compare the SMDO algorithm with other algorithms in the literature. The aim of the study is to analyze the contribution of different distribution functions to the performance of the SMDO algorithm.

In Table 1, there is the SMDO algorithm executed with normal distribution. SMDO algorithm was run for 20 different benchmark functions 20 times according to uniform distribution and the average value of the results was calculated and shown in the column named with 'Classical SMDO with Uniform (Mean)'. Then, as shown in Table 1, the SMDO algorithm was run according to normal distribution and the resulting repetitive results were compared equally. For example, for Table 1, the Ackley benchmark function is resolved with the original SMDO algorithm and the obtained value is given in the 1st row of the table under 'Classical SMDO with Uniform (Mean)' column. Its value is 0.0079. Then, the SMDO algorithm was updated with normal distribution, the Ackley function was resolved with this updated form and the value of 0.0112 was obtained and it is given in the first column in the table. The classical SMDO algorithm has derived better results for the Ackley function. In addition, with the values obtained as a result of 20 times repeated tests 1st, 2nd, 3rd and 4th statistical moment values are given for Ackley function. The algorithm was then run for the Beale benchmark function in a similar way, and firstly it is achieved 0.0065 mean value with the Classical SMDO algorithm. Then, the SMDO algorithm which is updated with the normal distribution was run and as a result, it was obtained as 0.0045 value as given in the second row in Table 1. Similarly, as a result of 20 iterations, 2nd, 3rd and 4th statistical moments are obtained. As shown in the table, painted in

green, normal distribution function based SMDO algorithm produced better results in 13 of 20 benchmark functions than classical SMDO, and in other 7 benchmark functions where it did not produce better results, it produced results very close to classical SMDO. So it can be seen from the results, the effect of different distribution functions on optimization algorithms is clearly seen. In order to make the results more reliable, the algorithm has been run many times under the same conditions and the results have been obtained accordingly. As it can be seen from the results, the use of different distribution functions is in a direction that favors the algorithm performance as a result of statistical analysis. For example, by using normal distribution instead of uniform distribution for 20 different benchmark functions, in 13 benchmark functions in error averages there seems to be improvement. As can be seen in the table, the variance values of the related solutions are also lower than the first case.

In Table 2 below, there is the SMDO algorithm executed with beta distribution. Our reference point in this table is the Classical SMDO result which is given in each row in the column named with 'Classical SMDO with Uniform (Mean)'. As in Table 1, the algorithm was run in a similar way, and in 15 of 20 benchmark functions, beta results were found with better results than conventional SMDO. This is another indication of the effect of the distribution function.

In Table 3 below, there is the SMDO algorithm executed with binomial distribution. Our reference point in this table is the Classical SMDO result which is given in each row in the column named with 'Classical SMDO with Uniform (Mean)'. As in Table 1 and Table 2, the algorithm was run in a similar way, and in 4 of 20 benchmark functions, binomial results were found with better results than conventional SMDO.

In Table 4 below, there is the SMDO algorithm executed with extreme value distribution. Our reference point in this table is the Classical SMDO result which is given in each row in the column named with 'Classical SMDO with Uniform (Mean)'. As in Table 1, Table 2 and Table 3 the algorithm was run in a similar way, and in 12 of 20 benchmark functions, extreme value results were found with better results than conventional SMDO.

So this results can be evidence of another indication of the effect of the distribution function.

As can be seen from the tables, the variance is actually large in the values obtained with the uniform distribution function, which shows that the data set, that is, the values used during the optimization, are scattered. In stochastic i.e. numeric optimization algorithms, the main reason for making the statistical analyses for all results is whether the results will be stable when running the algorithm again or using it for other problems.

Therefore, in this study, the skewness and kurtosis results, which are the 3rd and 4th statistical moments, have been added to the mean and variances or standard deviation values. While examining symmetry with skewness, kurtosis examines measure of peakedness of a probability distribution. In fact, these two values are not preferred in statistical analysis. However, in this study and many other studies, standard deviation and mean values are taken as statistical moment. Parameters and error values vary, especially when scanning the parameter vector space. This makes a difference according to the dynamics of the problem solved. Sometimes algorithms that do well in benchmarking trials may not perform very well in engineering problems. Therefore, it is thought that the performance analysis of the algorithm proposed or used for real-time engineering applications will be better by looking at the skewness and kurtosis values of the obtained parameters.

SMDO Toolbox

In this study, a toolbox was created for the SMDO algorithm, which operates according to different distribution functions. In this study, only some results are presented. However, in the presented toolbox, a toolbox has been created in which the algorithm can be run repeatedly according to 21 different distribution functions. The created toolbox (www.mathworks.com) is published on the site. The created toolbox is used as follows. The "Enter parameter count" section indicates how many times the algorithm will be run consecutively. The "Enter iteration number" section determines how many iterations a single cycle of the algorithm will be. The "Enter error limit" section is a special definition for the SMDO algorithm.

Table 1: Results of SMDO Algorithm with Different Benchmark Functions Using Normal Distribution Function

SMDO with Normal Distribution	Global Min Value	Mean(First Moment)	Classical SMDO With Uniform (Mean)	Variance(Second Moment)	Skewness(Third Moment)	Kurtosis(Fourth Moment)
SMDO with Ackley	0	0.0112	0.0079	0.01241	2.3824	10.2447
SMDO with Beale	0	0.0045	0.0065	0.0107	7.4792	74.6493
SMDO with Bohachevsky	0	0.0020	0.0018	0.0036	2.8920	13.0674
SMDO with Booth	0	0.0003	0.0010	0.0006	4.4293	29.6066
SMDO with Branin	0,3978	0.3910	0.4092	0.0554	-6.9216	48.9486
SMDO with DixonPrice	0	0.0039	0.0351	0.0053	3.3031	18.5576
SMDO with Easom	-1	-8.3330e-08	-2.9777e-08	1.16062e-07	-1.8169	5.3094
SMDO with GoldsteinPrice	3	3.2406	4.0397	0.6616	-0.9759	15.8988
SMDO with Griewank	0	3.1166e-05	2.8866e-05	2.8292e-05	0.6642	2.1408
SMDO with Hump	0	0.00253	0.0220	0.0027	2.3122	10.0579
SMDO with Levy	0	0.0002	0.0038	0.0004	5.1653	36.7470
SMDO with Matyas	0	3.24984e-05	3.3132e-05	3.0056e-05	0.6723	2.1384
SMDO with Perm	0	0.00756	0.0279	0.0093	2.8875	14.8627
SMDO with Powell	0	0.0005	0.0003	0.0013	4.7732	27.9739
SMDO with Rastrigin	0	0.0141	0.0067	0.02999	4.5009	30.5890
SMDO with Rosenbrock	0	0.1392	0.3961	0.1265	1.6300	7.3854
SMDO with Schwefel	0	813.7992	813.7996	115.3717	-6.9296	49.0199
SMDO with Shubert	-186,73	-22.31463	-18.3900	18.4898	-1.1027	2.8943
SMDO with Sphere	0	3.8099e-05	3.6085e-05	3.8897e-05	2.8275	20.0084
SMDO with Zakharov	0	4.5726e-05	4.0279e-05	6.4747e-05	4.3740	31.2018

Table 2: Results of SMDO Algorithm with Different Benchmark Functions Using Beta Distribution Function

SMDO with Beta Distribution	Global Min. Val.	Mean(First Moment)	Classical SMDO With Uniform (Mean)	Variance(Second Moment)	Skewness(Third Moment)	Kurtosis(Fourth Moment)
SMDO with Ackley	0	0.0048	0.0079	0.00479	1.5709	5.3299
SMDO with Beale	0	0.0011	0.0065	0.003025	10.2732	128.1170
SMDO with Bohachevsky	0	0.0018	0.0018	0.002896	3.06244	14.8792
SMDO with Booth	0	9.4914e-05	0.0010	0.00013	3.8692	22.8552
SMDO with Branin	0,3978	0.3908	0.4092	0.05541	-6.9237	48.9667
SMDO with DixonPrice	0	0.00099	0.0351	0.001649	3.5398	17.58250
SMDO with Easom	-1	-1.4773e-08	-2.9777e-08	1.0938e-08	-0.8225	2.6445191
SMDO with GoldsteinPrice	3	3.0417	4.0397	0.4760	-4.7354	34.1134
SMDO with Griewank	0	3.3553e-05	2.8866e-05	3.1356e-05	0.5283	1.8592
SMDO with Hump	0	0.00186	0.0220	0.0032	3.1804	13.8229
SMDO with Levy	0	0.0001	0.0038	0.0002	4.35260	24.2882
SMDO with Matyas	0	3.555e-05	3.3132e-05	3.0747e-05	0.5315	1.9206
SMDO with Perm	0	0.00311	0.0279	0.0070	8.2227	86.2100
SMDO with Powell	0	0.0002	0.0003	0.0011	12.2108	163.6566
SMDO with Rastrigin	0	0.00128	0.0067	0.00345	6.15650	46.1952
SMDO with Rosenbrock	0	0.3233	0.3961	0.1038	-0.6704	4.05219
SMDO with Schwefel	0	813.7992	813.7996	115.3717	-6.9296	49.0199
SMDO with Shubert	-186,73	-11.54244	-18.3900	5.0931	0.6507	2.21161
SMDO with Sphere	0	3.3593	3.6085e-05	3.2951e-05	1.3627	7.1360
SMDO with Zakharov	0	2.7623e-05	4.0279e-05	2.9612e-05	2.2103	13.0656

Table 3: Results of SMDO Algorithm with Different Benchmark Functions Using Binomial Distribution Function

SMDO with Binomial Distribution	Global Min. Val.	Mean(First Moment)	Classical SMDO With Uniform (Mean)	Variance(Second Moment)	Skewness(Third Moment)	Kurtosis(Fourth Moment)
SMDO with Ackley	0	0.1056	0.0079	0.5248	4.7737	23.8915
SMDO with Beale	0	5.942	0.0065	7.0001	0.3370	1.11486
SMDO with Bohachevsky	0	0.02941	0.0018	0.1538	6.7805	58.9932
SMDO with Booth	0	0.1053	0.0010	0.3637	3.9940	19.5653
SMDO with Branin	0,3978	1.1269	0.4092	1.8028	4.5147	26.0063
SMDO with DixonPrice	0	0.4803	0.0351	0.2918	0.8972	4.72660
SMDO with Easom	-1	-2.1170e-08	-2.9777e-08	4.4813e-08	-4.34627	24.4713
SMDO with GoldsteinPrice	3	248.7368	4.0397	2854.2248	14.16455	201.75833
SMDO with Griewank	0	0.01319	2.8866e-05	0.0220	1.7918	6.0395

SMDO with Hump	0	0.2901	0.0220	0.1082	5.2853	38.8661
SMDO with Levy	0	0.1645	0.0038	0.3102	2.9967	15.5586
SMDO with Matyas	0	0.0019	0.0279	0.0110	5.5704	32.0303
SMDO with Perm	0	1.0699	0.0003	1.9015	6.0539	50.1328
SMDO with Powell	0	0.7457	0.0067	4.2443	5.5668	32.0037
SMDO with Rastrigin	0	0.04411	0.3961	0.2058	4.4399	20.7128
SMDO with Rosenbrock	0	64.0465	813.7996	114.9534	1.9502	5.8908
SMDO with Schwefel	0	789.9691	-18.3900	116.8345	-6.0896	41.3975
SMDO with Shubert	-186,73	-14.6498	3.6085e-05	10.8293	-2.6302	10.7316
SMDO with Sphere	0	0.01348	4.0279e-05	0.08305	9.0685	100.8007
SMDO with Zakharov	0	0.01573	0.0079	0.1058	9.7663	113.6100

Table 4: Results of SMDO Algorithm with Different Benchmark Functions Using Extreme Value Distribution Function

SMDO with Extreme Value Distribution	Global Min. Val.	Mean(First Moment)	Classical SMDO With Uniform (Mean)	Variance(Second Moment)	Skewness(Third Moment)	Kurtosis(Fourth Moment)
SMDO with Ackley	0	0.0142	0.0079	0.01537	2.14544	9.2053
SMDO with Beale	0	0.0874	0.0065	0.9954	14.0801	200.12788
SMDO with Bohachevsky	0	0.0023	0.0018	0.0045	3.15584	13.8019
SMDO with Booth	0	0.0003	0.0010	0.00056	3.85149	26.6506
SMDO with Branin	0,3978	0.3915	0.4092	0.05555	-6.9114	48.8571
SMDO with DixonPrice	0	0.00376	0.0351	0.0045	2.5793	12.739
SMDO with Easom	-1	-7.8097e-08	-2.9777e-08	1.1694e-07	-2.0064	6.1050
SMDO with GoldsteinPrice	3	3.5185	4.0397	1.0694	2.41662	21.346
SMDO with Griewank	0	0.00017	2.8866e-05	0.00096	9.1354	90.4217
SMDO with Hump	0	0.003568	0.0220	0.00478	3.01209	14.6803
SMDO with Levy	0	0.0003	0.0038	0.000401	2.92719	15.7236
SMDO with Matyas	0	3.3554e-05	3.3132e-05	3.0966e-05	0.542472	1.93375
SMDO with Perm	0	0.0085	0.0279	0.01061	2.52858	11.58471
SMDO with Powell	0	0	0.0003	0	NaN	NaN
SMDO with Rastrigin	0	0.02889	0.0067	0.0856	6.8884	62.67449
SMDO with Rosenbrock	0	0.1388	0.3961	0.14363	2.27359	10.0489
SMDO with Schwefel	0	813.7992	813.7996	115.3717	-6.929	49.0199
SMDO with Shubert	-186,73	-22.0883	-18.3900	19.2324	-1.19970	2.9960

SMDO with Sphere	0	6.7565e-05	3.6085e-05	0.000192	11.5382	151.334
SMDO with Zakharov	0	0.0003	4.0279e-05	0.00123	7.0040	55.8365

It ensures that the algorithm remains within the stability limits for the parameters. The "Enter Divergence Vector" section is a specially defined function for SMDO as the scanning speed of the parameter vector spaces of the parameters optimized in the algorithm. The "Enter benchmark type" section provides the user with the option to select the desired benchmark function [28] with a variable for 27 different benchmark functions. The "Enter distribution type" section can actually be shown as a first for such algorithms. The benchmark function that is desired to be used is automatically selected in the toolbox and its effect in terms of algorithm can be easily monitored. In this study, a program called SMDO Toolbox is developed to implement SMDO algorithm. By the help of this program SMDO is applied on different benchmark test functions with different distribution functions and results are gained to compare within each other. The program is developed with MATLAB. In the program input parameters are taken through graphical user interfaces. The GUI of the program can be seen in Figure 3.

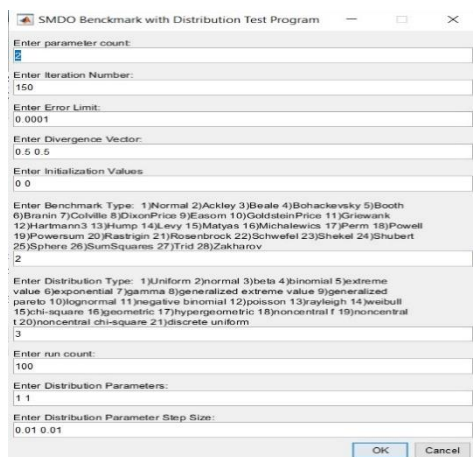


Fig. 3. GUI of SMDO Toolbox

Besides this, the mean, best and worst values are also shown with the help of this program to analyze and compare the results.

Conclusions

This paper presents the comparisons of solutions of different numerical optimization methods by using different benchmark functions

with different distribution functions. SMDO algorithm has proven its success especially in a real world engineering problems such that controller design. This is a big deal because generally optimization problems are verified through benchmark test functions which are far away from solving real world problems efficiently. But if an algorithm does not contribute to a real world problem it remains restricted in the theoretical ground and we cannot use it in a practical way which is not preferred from an engineering perspective.

But the performance of SMDO like other numerical methods can be enhanced by developing its randomization step. In Section 4 it is shown that SMDO algorithm can work with most of the benchmark functions efficiently like other algorithms do. This comparison is made with uniform distribution function. From this table we can see that an algorithm which is eligible for real world problems can be applied to artificial benchmark functions. But to move this success one more step further, randomization process in the SMDO algorithm is focused on. For this SMDO algorithm is tried with different distribution functions by using different benchmark functions. When using different distribution functions a very important notion in statistics is analyzed which is statistical moments. The four statistical moments are shown in tabular form when using different distribution functions in Section 5. It is showed that the used distribution function in a numerical algorithm can change the solution. This effect can be positive or negative. It is seen that the distribution function which can be more suitable for an algorithm can be specified by analyzing the statistical moment of the data set produced. Because the statistical moments give the clues of algorithm's process characteristics. So by using the data produced in the algorithm makes us to analyze the characteristics of the randomization process of the algorithm.

Acknowledgments: We are thankful to Inonu University Computer Engineering Department's Optimization and Its Engineering Applications Laboratory (OMEPLAB).

References

- [1] M. S. Bazaraa, H. D. Sherali, and C. M. Shetty, *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. 2005.
- [2] R. Hemmecke, M. Köppe, J. Lee, and R. Weismantel, "Nonlinear integer programming," in *50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art*, 2010.
- [3] C. Zhang and R. Ordóñez, "Numerical optimization," in *Advances in Industrial Control*, 2012.
- [4] L. Bianchi, M. Dorigo, L. M. Gambardella, and W. J. Gutjahr, "A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization," *Nat. Comput.*, 2009, doi: 10.1007/s11047-008-9098-4.
- [5] J. H. He, "Homotopy perturbation technique," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 1999, doi: 10.1016/S0045-7825(99)00018-3.
- [6] J. H. He, "Comparison of homotopy perturbation method and homotopy analysis method," *Appl. Math. Comput.*, 2004, doi: 10.1016/j.amc.2003.08.008.
- [7] X. S. Yang, "Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization," *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, 2010, doi: 10.1504/IJBIC.2010.032124.
- [8] X. S. Yang, "Flower pollination algorithm for global optimization," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-32894-7_27.
- [9] M. Ghaemi and M. R. Feizi-Derakhshi, "Forest optimization algorithm," *Expert Syst. Appl.*, 2014, doi: 10.1016/j.eswa.2014.05.009.
- [10] F. Glover, "Tabu Search—Part I," *ORSA J. Comput.*, 1989, doi: 10.1287/ijoc.1.3.190.
- [11] F. Glover, "Tabu Search—Part II," *ORSA J. Comput.*, 1990, doi: 10.1287/ijoc.2.1.4.
- [12] X. S. Yang, "A new metaheuristic Bat-inspired Algorithm," in *Studies in Computational Intelligence*, 2010, doi: 10.1007/978-3-642-12538-6_6.
- [13] X. S. Yang, "Harmony search as a metaheuristic algorithm," *Studies in Computational Intelligence*. 2009, doi: 10.1007/978-3-642-00185-7_1.
- [14] M. Jain, V. Singh, and A. Rani, "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm," *Swarm Evol. Comput.*, 2019, doi: 10.1016/j.swevo.2018.02.013.
- [15] M. Karimzadeh and F. Keynia, "Woodpecker Mating Algorithm (WMA): a nature-inspired algorithm for solving optimization problems," vol. 11, no. 1, pp. 137–157, 2020.
- [16] "Probability density function - MATLAB pdf." <https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.pdf.html>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [17] "Normal Distribution - MATLAB & Simulink." <https://www.mathworks.com/help/stats/normal-distribution.html>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [18] "Beta Distribution - MATLAB & Simulink." <https://www.mathworks.com/help/stats/beta-distribution.html>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [19] "Binomial Distribution - MATLAB & Simulink." <https://www.mathworks.com/help/stats/binomial-distribution.html>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [20] "Extreme Value Distribution - MATLAB & Simulink." <https://www.mathworks.com/help/stats/extreme-value-distribution.html>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [21] B. B. Alagoz, A. Ates, and C. Yeroglu, "Auto-tuning of PID controller according to fractional-order reference model approximation for DC rotor control," *Mechatronics*, vol. 23, no. 7, 2013, doi: 10.1016/j.mechatronics.2013.05.001.
- [22] C. Yeroğlu and A. Ateş, "A stochastic multi-parameters divergence method for online auto-tuning of fractional order PID controllers," *J. Franklin Inst.*, vol. 351, no. 5, 2014, doi: 10.1016/j.jfranklin.2013.12.006.
- [23] A. Ates, C. Yeroglu, B. B. Alagoz, and B. Senol, "Tuning of fractional order PID with master-slave stochastic multi-parameter divergence optimization method," in *2014 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications, ICFDA 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967388.
- [24] A. Ateş and C. Yeroglu, "SMDO Algoritması ile İki Serbestlik Dereceli FOPID Kontrol Çevrimi Tasarımı Two Degrees of Freedom FOPID Control Loop Design via SMDO Algorithm," pp. 6–11.
- [25] A. Ates and C. YEROĞLU, "Online Tuning of Two Degrees of Freedom Fractional Order Control Loops," *Balk. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 5–11, 2016, doi: 10.17694/bajece.52491.
- [26] A. Ates *et al.*, "Fractional Order Model Identification of Receptor-Ligand Complexes Formation by Equivalent Electrical Circuit Modeling," *2019 Int. Conf. Artif. Intell. Data Process. Symp. IDAP 2019*, 2019, doi: 10.1109/IDAP.2019.8875913.
- [27] A. Ates, B. B. Alagoz, Y. Q. Chen, C. Yeroglu, and S. H. HosseinNia, "Optimal Fractional Order PID Controller Design for Fractional Order Systems by Stochastic Multi Parameter Divergence Optimization Method with Different Random Distribution Functions," pp. 9–14, 2020, doi: 10.1109/iccma46720.2019.8988599.
- [28] "Unconstained." [Online]. Available: [http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedar_files/TestG O_files/Page364.htm](http://www.optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedar_files/TestG O_files/Page364.htm). [Accessed: 16-Apr-2020].



Matrix Encryption Standard

Orhan Dişkaya^{*1}, Erdiñç Avarođlu² and Hamza Menken³

1 Mersin University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ciftlikkoy, Mersin, TURKEY, orhandiskaya@mersin.edu.tr, ORCID ID 0000-0001-5698-7834

2 Mersin University, Computer Engineering Department, Ciftlikkoy, Mersin, TURKEY, eavaroglu@mersin.edu.tr, ORCID ID 0000-0003-1976-2526

3 Mersin University, Department of Mathematics Ciftlikkoy, Mersin, TURKEY, hmenken@mersin.edu.tr, ORCID ID 0000-0003-1194-3162

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 May 2020
Received in revised form 10 July 2020
Accepted 18 August 2020
Available online 30 September 2020

Keywords:

Cryptology, Encryption, AES, Matrix

ABSTRACT

AES (Advanced Encryption Standard) is a standard for encrypting electronic data. AES operates on a 4×4 column-major order array of bytes. The operations in the matrix are also performed on the polynomials in a special finite field and using S-box. We firstly recall necessary information about matrix algebra. In the present work, we examine the AES encryption method. We create a new encryption algorithm called matrix encryption standard (MES). MES is performed by similar steps to the AES algorithm over 16×16 matrices with elements $\{0,1\}$ without using polynomials operations and S-box in the AES algorithm. So, we provide 256-bits plain text to be encrypted by passing it through certain rounds with the 16×16 matrix key. In order to decrypt the cipher text, we take the reverse of the 16×16 key matrix through the computer and perform the decryption process by performing a certain number of reverse rounds.

Doi: 10.24012/dumf.733498

* Corresponding author

Orhan, Dişkaya

✉ orhandiskaya@mersin.edu.tr

Introduction

Cryptology is password science. It is the encryption of various messages, texts according to a certain system, these messages are transmitted to the receiver in a secure environment and the transmitted message is deciphered. Cryptology science is divided into two branches. These are Cryptography; encrypted writing and Cryptanalysis; deciphering or analyzing passwords. Cryptology has a very ancient history. These are Caesar encryption, rotor machine (Enigma), public-key encryption, data hiding techniques. Cryptology algorithms consist entirely of mathematical functions. One of the most important encryption algorithms that include mathematical functions is AES (Advanced Encryption Standard). AES is a standard for encrypting electronic data. AES adopted by the American government is also used as defacto encryption (crypto) standard internationally. It has replaced DES (Data Encryption Standard). It is a symmetric-switched algorithm. The encryption and decryption keys are the same for AES. It is based on the design basis known as Substitution-Permutation. Its software and hardware performance is high. It runs on a 4x4 matrix called state. The operations on the matrix are made in a special finite field. The algorithm consists of a number of repetitive input clear texts, round identical conversion cycles that convert the output into encrypted text. Each cycle consists of four steps, except for the last cycle. These cycles are applied in reverse order to decode the encrypted text. The repeat numbers of the cycles are 10, 12, and 14, respectively, for key lengths of 128-bit, 192-bit, and 256-bit. The round transformation is composed of four different transformations. These are byte sub, shift row, mix column and add round key. The final round of the cipher is slightly different. It is defined by byte sub, shift row and add round key. In this study, we create a new encryption algorithm called matrix encryption standard (MES) with AES similar properties. MES has 256-bit keys and works

with around conversion process like AES. These processes are transpose, shift column, inverse reflection and add round key, respectively. So, we first express some of the properties of the matrix that form the basis of the MES encryption algorithm. For more information on cryptology, see [3,4,5,6].

Matrices were jointly discovered by Arthur Cayley and James Joseph Sylvester. A matrix is a rectangular configuration of the numbers in square brackets. P matrix with m rows and n columns is an $m \times n$ matrix, its size being $m \times n$. When m is 1, it is a row vector; and when n is 1, it is a column vector. If $m = n$, it is a square matrix of order n . Every number in the arrangement is an element of the matrix. Let p_{ij} show the element in column j and row i of P . Then, matrix has the following form,

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

When all elements of the matrix are zero, this matrix is zero matrix, denoted by O_n . For example,

$$O_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ and } O_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

The identity matrix of order n is denoted by I_n . For example,

$$I_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ and } I_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

For each square matrix $P = (p_{ij})$, define transpose P , denoted by P^T , that is

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix} \text{ then, } P^T = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1n} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

The sum of the matrices $P = (p_{ij})_{m \times n}$ and $Q = (q_{ij})_{m \times n}$ is defined by $P + Q = (p_{ij} + q_{ij})_{m \times n}$, that is

$$P + Q = \begin{pmatrix} p_{11} + q_{11} & \dots & p_{1n} + q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} + q_{m1} & \dots & p_{mn} + q_{mn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Let $P = (p_{ij})$ be any matrix and k any real number. Then, $kP = (kp_{ij})_{m \times n}$, that is

$$kP = \begin{pmatrix} kp_{11} & \dots & kp_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ kp_{m1} & \dots & kp_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

The product PQ of the matrices $P = (p_{ij})_{m \times n}$ and $Q = (q_{ij})_{n \times m}$ is the matrix $R = (r_{ij})_{m \times m}$ where r_{ij} is the sum of the products of the corresponding elements in column j of Q and row i of P , as shown below:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & \dots & q_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dots & \vdots & \dots \\ \dots & r_{ij} & \dots \\ \dots & \vdots & \dots \end{pmatrix} \quad (7)$$

where $r_{ij} = p_{i1}q_{1j} + p_{i2}q_{2j} + \dots + p_{in}q_{nj} = \sum_{k=1}^n p_{ik}q_{kj}$.

For each basic transformation, there is an inverse transformation, that is, a transformation that undoes everything that the basic transformation does. The inverse of the matrix can be taken in several ways. These are Gauss-Jordan method, inverse of a matrix using minors, cofactors and ad-jugate and programs for the inverse of large matrices. More information about the matrix can be viewed at [2].

ASCII Table

It is one of the tables used in computer science and used to express each symbol numerically. ASCII letters consist of the initials of the words American Standard Code for Information Interchange. It is simply used to translate the signals processed by the computer (which can be shown as 1 and 0) into symbols that people can understand. The encryption of the algorithm puts forward in this study is carried out using the table.

Table 1. ASCII table

Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char
0	0	0		32	20	40	[space]	64	40	100	@	96	60	140	`
1	1	1		33	21	41	!	65	41	101	A	97	61	141	A
2	2	2		34	22	42	“	66	42	102	B	98	62	142	B
3	3	3		35	23	43	#	67	43	103	C	99	63	143	C
4	4	4		36	24	44	\$	68	44	104	D	100	64	144	D
5	5	5		37	25	45	%	69	45	105	E	101	65	145	E
6	6	6		38	26	46	&	70	46	106	F	102	66	146	F
7	7	7		39	27	47	'	71	47	107	G	103	67	147	G
8	8	10		40	28	50	(	72	48	110	H	104	68	150	H
9	9	11		41	29	51	)	73	49	111	I	105	69	151	I
10	A	12		42	2A	52	*	74	4A	112	J	106	6A	152	J
11	B	13		43	2B	53	+	75	4B	113	K	107	6B	153	K
12	C	14		44	2C	54	,	76	4C	114	L	108	6C	154	L
13	D	15		45	2D	55	-	77	4D	115	M	109	6D	155	M
14	E	16		46	2E	56	.	78	4E	116	N	110	6E	156	N
15	F	17		47	2F	57	/	79	4F	117	O	111	6F	157	O
16	10	20		48	30	60	0	80	50	120	P	112	70	160	P
17	11	21		49	31	61	1	81	51	121	Q	113	71	161	Q
18	12	22		50	32	62	2	82	52	122	R	114	72	162	R
19	13	23		51	33	63	3	83	53	123	S	115	73	163	S
20	14	24		52	34	64	4	84	54	124	T	116	74	164	T
21	15	25		53	35	65	5	85	55	125	U	117	75	165	U
22	16	26		54	36	66	6	86	56	126	V	118	76	166	V
23	17	27		55	37	67	7	87	57	127	W	119	77	167	W
24	18	30		56	38	70	8	88	58	130	X	120	78	170	X
25	19	31		57	39	71	9	89	59	131	Y	121	79	171	Y
26	1A	32		58	3A	72	:	90	5A	132	Z	122	7A	172	Z
27	1B	33		59	3B	73	;	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	34		60	3C	74	<	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	35		61	3D	75	=	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	36		62	3E	76	>	94	5E	136	^	126	7E	176	
31	1F	37		63	3F	77	?	95	5F	137	-	127	7F	177	

Main Results

In the section, we aim to create a new encryption algorithm without using the polynomials in the AES. We consider as a row vector matrix of type

$$[\lambda_{i(4j-3)} \lambda_{i(4j-2)} \lambda_{i(4j-1)} \lambda_{i(4j)}]_{1 \times 4}, \{\lambda_{ij} \in \{0,1\} | i, j \in \square^+\} \quad (8)$$

as 4 bits and find the corresponding value with the result $2^3 \lambda_{i(4j-3)} + 2^2 \lambda_{i(4j-2)} + 2^1 \lambda_{i(4j-1)} + 2^0 \lambda_{i(4j)}$

and the equivalent of this result appears in the ASCII table.

Table 2. Hexadecimal equivalent of the binary

[0000] = 0	[0100] = 4	[1000] = 8	[1100] = C
[0001] = 1	[0101] = 5	[1001] = 9	[1101] = D
[0010] = 2	[0110] = 6	[1010] = A	[1110] = E
[0011] = 3	[0111] = 7	[1011] = B	[1111] = F

So that, the values of the *A, B, C, D, E, F* in Table 2 are known to be 10, 11, 12, 13, 14, 15, respectively.

The 16×16 matrix is obtained by placing a 4-bit row matrix for each value of the 4×16 status matrix. For example, let's show the hexadecimal state matrix as a binary 16×16 matrix on the example as below

Table 3. State matrix

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & A & C \\ B & 3 & 0 & D \\ 5 & 4 & 9 & F \\ 7 & E & 6 & 8 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}_{16 \times 16}$$

So, the input 256-bits is organized as a 16×16 matrix of cells, where each cell is one bit.

Table 4. State matrix

x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{1A}	x_{1B}	x_{1C}	x_{1D}	x_{1E}	x_{1F}	x_{1G}
x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{28}	x_{29}	x_{2A}	x_{2B}	x_{2C}	x_{2D}	x_{2E}	x_{2F}	x_{2G}
x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	x_{36}	x_{37}	x_{38}	x_{39}	x_{3A}	x_{3B}	x_{3C}	x_{3D}	x_{3E}	x_{3F}	x_{3G}
x_{41}	x_{42}	x_{43}	x_{44}	x_{45}	x_{46}	x_{47}	x_{48}	x_{49}	x_{4A}	x_{4B}	x_{4C}	x_{4D}	x_{4E}	x_{4F}	x_{4G}
x_{51}	x_{52}	x_{53}	x_{54}	x_{55}	x_{56}	x_{57}	x_{58}	x_{59}	x_{5A}	x_{5B}	x_{5C}	x_{5D}	x_{5E}	x_{5F}	x_{5G}
x_{61}	x_{62}	x_{63}	x_{64}	x_{65}	x_{66}	x_{67}	x_{68}	x_{69}	x_{6A}	x_{6B}	x_{6C}	x_{6D}	x_{6E}	x_{6F}	x_{6G}
x_{71}	x_{72}	x_{73}	x_{74}	x_{75}	x_{76}	x_{77}	x_{78}	x_{79}	x_{7A}	x_{7B}	x_{7C}	x_{7D}	x_{7E}	x_{7F}	x_{7G}
x_{81}	x_{82}	x_{83}	x_{84}	x_{85}	x_{86}	x_{87}	x_{88}	x_{89}	x_{8A}	x_{8B}	x_{8C}	x_{8D}	x_{8E}	x_{8F}	x_{8G}
x_{91}	x_{92}	x_{93}	x_{94}	x_{95}	x_{96}	x_{97}	x_{98}	x_{99}	x_{9A}	x_{9B}	x_{9C}	x_{9D}	x_{9E}	x_{9F}	x_{9G}
x_{A1}	x_{A2}	x_{A3}	x_{A4}	x_{A5}	x_{A6}	x_{A7}	x_{A8}	x_{A9}	x_{AA}	x_{AB}	x_{AC}	x_{AD}	x_{AE}	x_{AF}	x_{AG}
x_{B1}	x_{B2}	x_{B3}	x_{B4}	x_{B5}	x_{B6}	x_{B7}	x_{B8}	x_{B9}	x_{BA}	x_{BB}	x_{BC}	x_{BD}	x_{BE}	x_{BF}	x_{BG}
x_{C1}	x_{C2}	x_{C3}	x_{C4}	x_{C5}	x_{C6}	x_{C7}	x_{C8}	x_{C9}	x_{CA}	x_{CB}	x_{CC}	x_{CD}	x_{CE}	x_{CF}	x_{CG}
x_{D1}	x_{D2}	x_{D3}	x_{D4}	x_{D5}	x_{D6}	x_{D7}	x_{D8}	x_{D9}	x_{DA}	x_{DB}	x_{DC}	x_{DD}	x_{DE}	x_{DF}	x_{DG}
x_{E1}	x_{E2}	x_{E3}	x_{E4}	x_{E5}	x_{E6}	x_{E7}	x_{E8}	x_{E9}	x_{EA}	x_{EB}	x_{EC}	x_{ED}	x_{EE}	x_{EF}	x_{EG}
x_{F1}	x_{F2}	x_{F3}	x_{F4}	x_{F5}	x_{F6}	x_{F7}	x_{F8}	x_{F9}	x_{FA}	x_{FB}	x_{FC}	x_{FD}	x_{FE}	x_{FF}	x_{FG}
x_{G1}	x_{G2}	x_{G3}	x_{G4}	x_{G5}	x_{G6}	x_{G7}	x_{G8}	x_{G9}	x_{GA}	x_{GB}	x_{GC}	x_{GD}	x_{GE}	x_{GF}	x_{GG}

The MES algorithm

As with most block cipher algorithms, the number of cycles of the MES varies depending on the size of the secret key. The number of cycles in AES is indicated in parentheses in Table 5.

Table 5. Number of rounds

Cipher name	Key-size(bits)	Number of rounds
MES-64 (AES-128)	64 (128)	8 (10)
MES-256 (AES-192)	256 (192)	16 (12)
MES-1028 (AES-256)	1028 (256)	32 (14)

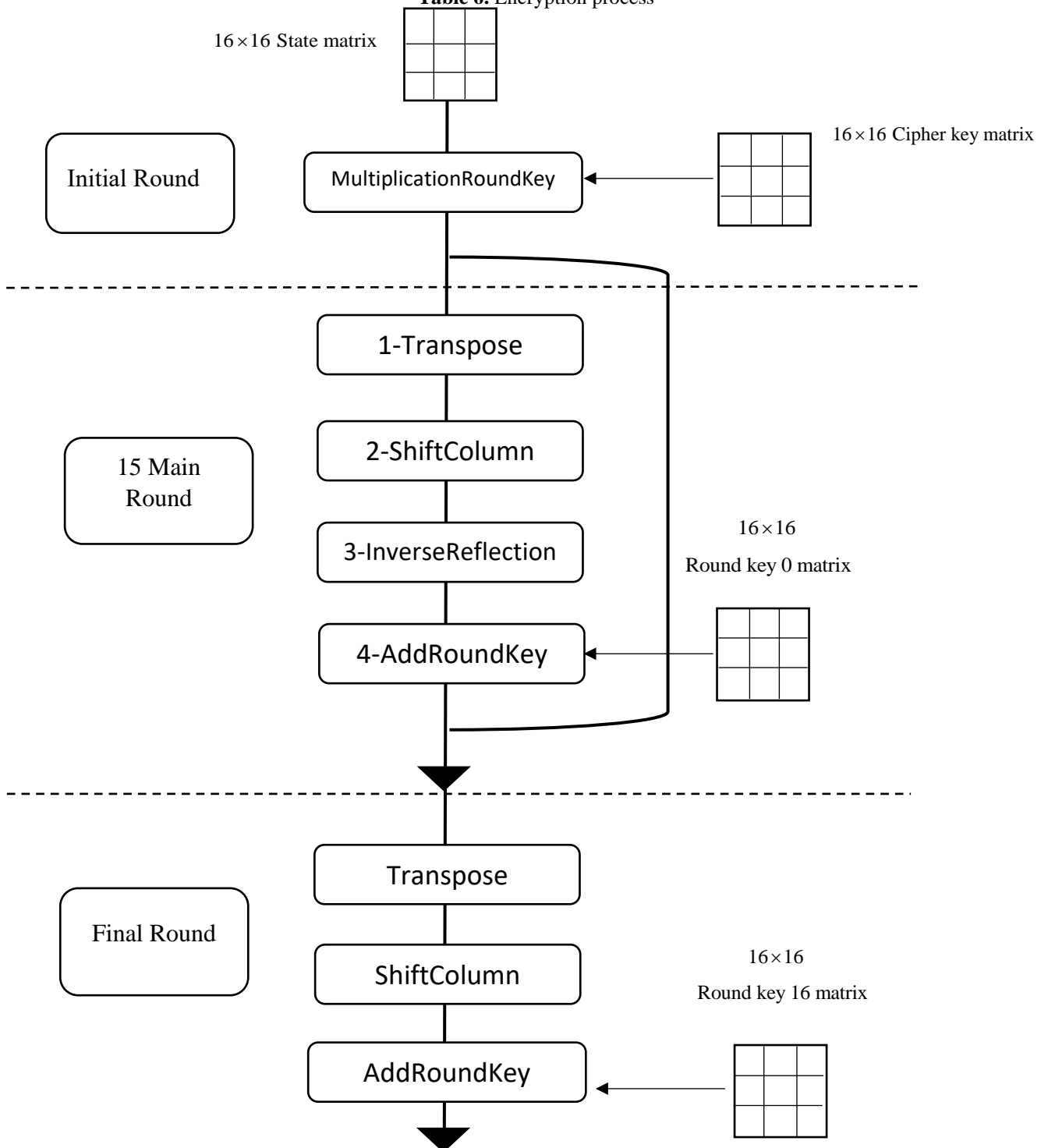
AES studies in [1,3,4,5,6] can be examined to understand better the MES algorithm.

The MES Encryption Process

Here, we create a description of a typical round of the MES encryption process. It takes place in three stages. In the first stage, the multiplication of the state matrix and the cipher key matrix occur. In the second stage, each round consists of the four processes conducted in the order. So,

transpose, shift column, inverse reflection and add round key operate 15 times, respectively. In the last stage, the final state matrix adds with the round key 16 matrix after taking its transpose and shift column, respectively, and the text is encrypted.

Table 6. Encryption process



Cipher key: Let's firstly determine a random 16×16 cipher key matrix in Table 7.

Table 7. Cipher key matrix

y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}	y_{16}	y_{17}	y_{18}	y_{19}	y_{1A}	y_{1B}	y_{1C}	y_{1D}	y_{1E}	y_{1F}	y_{1G}
y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	y_{25}	y_{26}	y_{27}	y_{28}	y_{29}	y_{2A}	y_{2B}	y_{2C}	y_{2D}	y_{2E}	y_{2F}	y_{2G}
y_{31}	y_{32}	y_{33}	y_{34}	y_{35}	y_{36}	y_{37}	y_{38}	y_{39}	y_{3A}	y_{3B}	y_{3C}	y_{3D}	y_{3E}	y_{3F}	y_{3G}
y_{41}	y_{42}	y_{43}	y_{44}	y_{45}	y_{46}	y_{47}	y_{48}	y_{49}	y_{4A}	y_{4B}	y_{4C}	y_{4D}	y_{4E}	y_{4F}	y_{4G}
y_{51}	y_{52}	y_{53}	y_{54}	y_{55}	y_{56}	y_{57}	y_{58}	y_{59}	y_{5A}	y_{5B}	y_{5C}	y_{5D}	y_{5E}	y_{5F}	y_{5G}
y_{61}	y_{62}	y_{63}	y_{64}	y_{65}	y_{66}	y_{67}	y_{68}	y_{69}	y_{6A}	y_{6B}	y_{6C}	y_{6D}	y_{6E}	y_{6F}	y_{6G}
y_{71}	y_{72}	y_{73}	y_{74}	y_{75}	y_{76}	y_{77}	y_{78}	y_{79}	y_{7A}	y_{7B}	y_{7C}	y_{7D}	y_{7E}	y_{7F}	y_{7G}
y_{81}	y_{82}	y_{83}	y_{84}	y_{85}	y_{86}	y_{87}	y_{88}	y_{89}	y_{8A}	y_{8B}	y_{8C}	y_{8D}	y_{8E}	y_{8F}	y_{8G}
y_{91}	y_{92}	y_{93}	y_{94}	y_{95}	y_{96}	y_{97}	y_{98}	y_{99}	y_{9A}	y_{9B}	y_{9C}	y_{9D}	y_{9E}	y_{9F}	y_{9G}
y_{A1}	y_{A2}	y_{A3}	y_{A4}	y_{A5}	y_{A6}	y_{A7}	y_{A8}	y_{A9}	y_{AA}	y_{AB}	y_{AC}	y_{AD}	y_{AE}	y_{AF}	y_{AG}
y_{B1}	y_{B2}	y_{B3}	y_{B4}	y_{B5}	y_{B6}	y_{B7}	y_{B8}	y_{B9}	y_{BA}	y_{BB}	y_{BC}	y_{BD}	y_{BE}	y_{BF}	y_{BG}
y_{C1}	y_{C2}	y_{C3}	y_{C4}	y_{C5}	y_{C6}	y_{C7}	y_{C8}	y_{C9}	y_{CA}	y_{CB}	y_{CC}	y_{CD}	y_{CE}	y_{CF}	y_{CG}
y_{D1}	y_{D2}	y_{D3}	y_{D4}	y_{D5}	y_{D6}	y_{D7}	y_{D8}	y_{D9}	y_{DA}	y_{DB}	y_{DC}	y_{DD}	y_{DE}	y_{DF}	y_{DG}
y_{E1}	y_{E2}	y_{E3}	y_{E4}	y_{E5}	y_{E6}	y_{E7}	y_{E8}	y_{E9}	y_{EA}	y_{EB}	y_{EC}	y_{ED}	y_{EE}	y_{EF}	y_{EG}
y_{F1}	y_{F2}	y_{F3}	y_{F4}	y_{F5}	y_{F6}	y_{F7}	y_{F8}	y_{F9}	y_{FA}	y_{FB}	y_{FC}	y_{FD}	y_{FE}	y_{FF}	y_{FG}
y_{G1}	y_{G2}	y_{G3}	y_{G4}	y_{G5}	y_{G6}	y_{G7}	y_{G8}	y_{G9}	y_{GA}	y_{GB}	y_{GC}	y_{GD}	y_{GE}	y_{GF}	y_{GG}

16×16

Elements of the above matrix are determined by the set $\{x_{ij} \in \{0,1\} | i, j \in \square^+\}$. matrix and cipher key are performed multiplication with each other. It is obtained the matrix in Table 8.

Multiplication round key: In this step, the state

Table 8. Multiplication matrix

z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}	z_{15}	z_{16}	z_{17}	z_{18}	z_{19}	z_{1A}	z_{1B}	z_{1C}	z_{1D}	z_{1E}	z_{1F}	z_{1G}
z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{24}	z_{25}	z_{26}	z_{27}	z_{28}	z_{29}	z_{2A}	z_{2B}	z_{2C}	z_{2D}	z_{2E}	z_{2F}	z_{2G}
z_{31}	z_{32}	z_{33}	z_{34}	z_{35}	z_{36}	z_{37}	z_{38}	z_{39}	z_{3A}	z_{3B}	z_{3C}	z_{3D}	z_{3E}	z_{3F}	z_{3G}
z_{41}	z_{42}	z_{43}	z_{44}	z_{45}	z_{46}	z_{47}	z_{48}	z_{49}	z_{4A}	z_{4B}	z_{4C}	z_{4D}	z_{4E}	z_{4F}	z_{4G}
z_{51}	z_{52}	z_{53}	z_{54}	z_{55}	z_{56}	z_{57}	z_{58}	z_{59}	z_{5A}	z_{5B}	z_{5C}	z_{5D}	z_{5E}	z_{5F}	z_{5G}
z_{61}	z_{62}	z_{63}	z_{64}	z_{65}	z_{66}	z_{67}	z_{68}	z_{69}	z_{6A}	z_{6B}	z_{6C}	z_{6D}	z_{6E}	z_{6F}	z_{6G}
z_{71}	z_{72}	z_{73}	z_{74}	z_{75}	z_{76}	z_{77}	z_{78}	z_{79}	z_{7A}	z_{7B}	z_{7C}	z_{7D}	z_{7E}	z_{7F}	z_{7G}
z_{81}	z_{82}	z_{83}	z_{84}	z_{85}	z_{86}	z_{87}	z_{88}	z_{89}	z_{8A}	z_{8B}	z_{8C}	z_{8D}	z_{8E}	z_{8F}	z_{8G}
z_{91}	z_{92}	z_{93}	z_{94}	z_{95}	z_{96}	z_{97}	z_{98}	z_{99}	z_{9A}	z_{9B}	z_{9C}	z_{9D}	z_{9E}	z_{9F}	z_{9G}
z_{A1}	z_{A2}	z_{A3}	z_{A4}	z_{A5}	z_{A6}	z_{A7}	z_{A8}	z_{A9}	z_{AA}	z_{AB}	z_{AC}	z_{AD}	z_{AE}	z_{AF}	z_{AG}
z_{B1}	z_{B2}	z_{B3}	z_{B4}	z_{B5}	z_{B6}	z_{B7}	z_{B8}	z_{B9}	z_{BA}	z_{BB}	z_{BC}	z_{BD}	z_{BE}	z_{BF}	z_{BG}
z_{C1}	z_{C2}	z_{C3}	z_{C4}	z_{C5}	z_{C6}	z_{C7}	z_{C8}	z_{C9}	z_{CA}	z_{CB}	z_{CC}	z_{CD}	z_{CE}	z_{CF}	z_{CG}
z_{D1}	z_{D2}	z_{D3}	z_{D4}	z_{D5}	z_{D6}	z_{D7}	z_{D8}	z_{D9}	z_{DA}	z_{DB}	z_{DC}	z_{DD}	z_{DE}	z_{DF}	z_{DG}
z_{E1}	z_{E2}	z_{E3}	z_{E4}	z_{E5}	z_{E6}	z_{E7}	z_{E8}	z_{E9}	z_{EA}	z_{EB}	z_{EC}	z_{ED}	z_{EE}	z_{EF}	z_{EG}
z_{F1}	z_{F2}	z_{F3}	z_{F4}	z_{F5}	z_{F6}	z_{F7}	z_{F8}	z_{F9}	z_{FA}	z_{FB}	z_{FC}	z_{FD}	z_{FE}	z_{FF}	z_{FG}
z_{G1}	z_{G2}	z_{G3}	z_{G4}	z_{G5}	z_{G6}	z_{G7}	z_{G8}	z_{G9}	z_{GA}	z_{GB}	z_{GC}	z_{GD}	z_{GE}	z_{GF}	z_{GG}

16×16

$$z_{ij} = x_{i1}y_{1j} + x_{i2}y_{2j} + \dots + x_{in}y_{nj} = \sum_{k=1}^G x_{ik}y_{kj} \pmod{2} \tag{9}$$

Transpose: This step performs the transposition of 16×16 matrix. This transformation is shown in Table 9.

Table 9. Transpose matrix

z_{11}	z_{21}	z_{31}	z_{41}	z_{51}	z_{61}	z_{71}	z_{81}	z_{91}	z_{A1}	z_{B1}	z_{C1}	z_{D1}	z_{E1}	z_{F1}	z_{G1}
z_{12}	z_{22}	z_{32}	z_{42}	z_{52}	z_{62}	z_{72}	z_{82}	z_{92}	z_{A2}	z_{B2}	z_{C2}	z_{D2}	z_{E2}	z_{F2}	z_{G2}
z_{13}	z_{23}	z_{33}	z_{43}	z_{53}	z_{63}	z_{73}	z_{83}	z_{93}	z_{A3}	z_{B3}	z_{C3}	z_{D3}	z_{E3}	z_{F3}	z_{G3}
z_{14}	z_{24}	z_{34}	z_{44}	z_{54}	z_{64}	z_{74}	z_{84}	z_{94}	z_{A4}	z_{B4}	z_{C4}	z_{D4}	z_{E4}	z_{F4}	z_{G4}
z_{15}	z_{25}	z_{35}	z_{45}	z_{55}	z_{65}	z_{75}	z_{85}	z_{95}	z_{A5}	z_{B5}	z_{C5}	z_{D5}	z_{E5}	z_{F5}	z_{G5}
z_{16}	z_{26}	z_{36}	z_{46}	z_{56}	z_{66}	z_{76}	z_{86}	z_{96}	z_{A6}	z_{B6}	z_{C6}	z_{D6}	z_{E6}	z_{F6}	z_{G6}
z_{17}	z_{27}	z_{37}	z_{47}	z_{57}	z_{67}	z_{77}	z_{87}	z_{97}	z_{A7}	z_{B7}	z_{C7}	z_{D7}	z_{E7}	z_{F7}	z_{G7}
z_{18}	z_{28}	z_{38}	z_{48}	z_{58}	z_{68}	z_{78}	z_{88}	z_{98}	z_{A8}	z_{B8}	z_{C8}	z_{D8}	z_{E8}	z_{F8}	z_{G8}
z_{19}	z_{29}	z_{39}	z_{49}	z_{95}	z_{69}	z_{79}	z_{89}	z_{99}	z_{A9}	z_{B9}	z_{C9}	z_{D9}	z_{E9}	z_{F9}	z_{G9}
z_{1A}	z_{2A}	z_{3A}	z_{4A}	z_{5A}	z_{6A}	z_{7A}	z_{8A}	z_{9A}	z_{AA}	z_{BA}	z_{CA}	z_{DA}	z_{EA}	z_{FA}	z_{GA}
z_{1B}	z_{2B}	z_{3B}	z_{4B}	z_{5B}	z_{6B}	z_{7B}	z_{8B}	z_{9B}	z_{AB}	z_{BB}	z_{CB}	z_{DB}	z_{EB}	z_{FB}	z_{GB}
z_{1C}	z_{2C}	z_{3C}	z_{4C}	z_{5C}	z_{6C}	z_{7C}	z_{8C}	z_{9C}	z_{AC}	z_{BC}	z_{CC}	z_{DC}	z_{EC}	z_{FC}	z_{GC}
z_{1D}	z_{2D}	z_{3D}	z_{4D}	z_{5D}	z_{6D}	z_{7D}	z_{8D}	z_{9D}	z_{AD}	z_{BD}	z_{CD}	z_{DD}	z_{ED}	z_{FD}	z_{GD}
z_{1E}	z_{2E}	z_{3E}	z_{4E}	z_{5E}	z_{6E}	z_{7E}	z_{8E}	z_{9E}	z_{AE}	z_{BE}	z_{CE}	z_{DE}	z_{EE}	z_{FE}	z_{GE}
z_{1F}	z_{2F}	z_{3F}	z_{4F}	z_{5F}	z_{6F}	z_{7F}	z_{8F}	z_{9F}	z_{AF}	z_{BF}	z_{CF}	z_{DF}	z_{EF}	z_{FF}	z_{FG}
z_{1G}	z_{2G}	z_{3G}	z_{4G}	z_{5G}	z_{6G}	z_{7G}	z_{8G}	z_{9G}	z_{AG}	z_{BG}	z_{CG}	z_{DG}	z_{EG}	z_{FG}	z_{GG}

16x16

Shift Column: In this part, it performs a cyclic shift in some columns of the matrix:

- the first column is unchanged.
- the second column is cyclically shifted one byte to the up
- the third column is cyclically shifted two bytes
- the fourth column is cyclically shifted three bytes...

This transformation is shown in Table 10.

Table 10. Shift Column matrix

Z ₁₁	Z _{2G}	Z _{3F}	Z _{4E}	Z _{5D}	Z _{6C}	Z _{7B}	Z _{8A}	Z ₉₉	Z _{A8}	Z _{B7}	Z _{C6}	Z _{D5}	Z _{E4}	Z _{F3}	Z _{G2}
Z ₁₂	Z ₂₁	Z _{3G}	Z _{4F}	Z _{5E}	Z _{6D}	Z _{7C}	Z _{8B}	Z _{9A}	Z _{A9}	Z _{B8}	Z _{C7}	Z _{D6}	Z _{E5}	Z _{F4}	Z _{G3}
Z ₁₃	Z ₂₂	Z ₃₁	Z _{4G}	Z _{5F}	Z _{6E}	Z _{7D}	Z _{8C}	Z _{9B}	Z _{AA}	Z _{B9}	Z _{C8}	Z _{D7}	Z _{E6}	Z _{F5}	Z _{G4}
Z ₁₄	Z ₂₃	Z ₃₂	Z ₄₁	Z _{5G}	Z _{6F}	Z _{7E}	Z _{8D}	Z _{9C}	Z _{AB}	Z _{BA}	Z _{C9}	Z _{D8}	Z _{E7}	Z _{F6}	Z _{G5}
Z ₁₅	Z ₂₄	Z ₃₃	Z ₄₂	Z ₅₁	Z _{6G}	Z _{7F}	Z _{8E}	Z _{9D}	Z _{AC}	Z _{BB}	Z _{CA}	Z _{D9}	Z _{E8}	Z _{F7}	Z _{G6}
Z ₁₆	Z ₂₅	Z ₃₄	Z ₄₃	Z ₅₂	Z ₆₁	Z _{7G}	Z _{8F}	Z _{9E}	Z _{AD}	Z _{BC}	Z _{CB}	Z _{DA}	Z _{E9}	Z _{F8}	Z _{G7}
Z ₁₇	Z ₂₆	Z ₃₅	Z ₄₄	Z ₅₃	Z ₆₂	Z ₇₁	Z _{8G}	Z _{9F}	Z _{AE}	Z _{BD}	Z _{CC}	Z _{DB}	Z _{EA}	Z _{F9}	Z _{G8}
Z ₁₈	Z ₂₇	Z ₃₆	Z ₄₅	Z ₅₄	Z ₆₃	Z ₇₂	Z ₈₁	Z _{9G}	Z _{AF}	Z _{BE}	Z _{CD}	Z _{DC}	Z _{EB}	Z _{FA}	Z _{G9}
Z ₁₉	Z ₂₈	Z ₃₇	Z ₄₆	Z ₅₅	Z ₆₄	Z ₇₃	Z ₈₂	Z ₉₁	Z _{AG}	Z _{BF}	Z _{CE}	Z _{DD}	Z _{EC}	Z _{FB}	Z _{GA}
Z _{1A}	Z ₂₉	Z ₃₈	Z ₄₇	Z ₅₆	Z ₆₅	Z ₇₄	Z ₈₃	Z ₉₂	Z _{A1}	Z _{BG}	Z _{CF}	Z _{DE}	Z _{ED}	Z _{FC}	Z _{GB}
Z _{1B}	Z _{2A}	Z ₃₉	Z ₄₈	Z ₅₇	Z ₆₆	Z ₇₅	Z ₈₄	Z ₉₃	Z _{A2}	Z _{B1}	Z _{CG}	Z _{DF}	Z _{EE}	Z _{FD}	Z _{GC}
Z _{1C}	Z _{2B}	Z _{3A}	Z ₄₉	Z ₅₈	Z ₆₇	Z ₇₆	Z ₈₅	Z ₉₄	Z _{A3}	Z _{B2}	Z _{C1}	Z _{DG}	Z _{EF}	Z _{FE}	Z _{GD}
Z _{1D}	Z _{2C}	Z _{3B}	Z _{4A}	Z ₉₅	Z ₆₈	Z ₇₇	Z ₈₆	Z ₉₅	Z _{A4}	Z _{B3}	Z _{C2}	Z _{D1}	Z _{EG}	Z _{FF}	Z _{GE}
Z _{1E}	Z _{2D}	Z _{3C}	Z _{4B}	Z _{5A}	Z ₆₉	Z ₇₈	Z ₈₇	Z ₉₆	Z _{A5}	Z _{B4}	Z _{C3}	Z _{D2}	Z _{E1}	Z _{FG}	Z _{GF}
Z _{1F}	Z _{2E}	Z _{3D}	Z _{4C}	Z _{5B}	Z _{6A}	Z ₇₉	Z ₈₈	Z ₉₇	Z _{A6}	Z _{B5}	Z _{C4}	Z _{D3}	Z _{E2}	Z _{F1}	Z _{GG}
Z _{1G}	Z _{2F}	Z _{3E}	Z _{4D}	Z _{5C}	Z _{6B}	Z _{7A}	Z ₈₉	Z ₉₈	Z _{A7}	Z _{B6}	Z _{C5}	Z _{D4}	Z _{E3}	Z _{F2}	Z _{G1}

16x16

Inverse Reaction: This step performs the inverse reaction of 16x16 matrix. This transformation is shown in Table 11.

Table 11. Inverse Reaction matrix

Z _{G1}	Z _{GG}	Z _{GF}	Z _{GE}	Z _{GD}	Z _{GC}	Z _{GB}	Z _{GA}	Z _{G9}	Z _{G8}	Z _{G7}	Z _{G6}	Z _{G5}	Z _{G4}	Z _{G3}	Z _{G2}
Z _{F2}	Z _{F1}	Z _{FG}	Z _{FF}	Z _{FE}	Z _{FD}	Z _{FC}	Z _{FB}	Z _{FA}	Z _{F9}	Z _{F8}	Z _{F7}	Z _{F6}	Z _{F5}	Z _{F4}	Z _{F3}
Z _{E3}	Z _{E2}	Z _{E1}	Z _{EG}	Z _{EF}	Z _{EE}	Z _{ED}	Z _{EC}	Z _{EB}	Z _{EA}	Z _{E9}	Z _{E8}	Z _{E7}	Z _{E6}	Z _{E5}	Z _{E4}
Z _{D4}	Z _{D3}	Z _{D2}	Z _{D1}	Z _{DG}	Z _{DF}	Z _{DE}	Z _{DD}	Z _{DC}	Z _{DB}	Z _{DA}	Z _{D9}	Z _{D8}	Z _{D7}	Z _{D6}	Z _{D5}
Z _{C5}	Z _{C4}	Z _{C3}	Z _{C2}	Z _{C1}	Z _{CG}	Z _{CF}	Z _{CE}	Z _{CD}	Z _{CC}	Z _{CB}	Z _{CA}	Z _{C9}	Z _{C8}	Z _{C7}	Z _{C6}
Z _{B6}	Z _{B5}	Z _{B4}	Z _{B3}	Z _{B2}	Z _{B1}	Z _{BG}	Z _{BF}	Z _{BE}	Z _{BD}	Z _{BC}	Z _{BB}	Z _{BA}	Z _{B9}	Z _{B8}	Z _{B7}
Z _{A7}	Z _{A6}	Z _{A5}	Z _{A4}	Z _{A3}	Z _{A2}	Z _{A1}	Z _{AG}	Z _{AF}	Z _{AE}	Z _{AD}	Z _{AC}	Z _{AB}	Z _{AA}	Z _{A9}	Z _{A8}
Z ₉₈	Z ₉₇	Z ₉₆	Z ₉₅	Z ₉₄	Z ₉₃	Z ₉₂	Z ₉₁	Z _{9G}	Z _{9F}	Z _{9E}	Z _{9D}	Z _{9C}	Z _{9B}	Z _{9A}	Z ₉₉
Z ₈₉	Z ₈₈	Z ₈₇	Z ₈₆	Z ₈₅	Z ₈₄	Z ₈₃	Z ₈₂	Z ₈₁	Z _{8G}	Z _{8F}	Z _{8E}	Z _{8D}	Z _{8C}	Z _{8B}	Z _{8A}
Z _{7A}	Z ₇₉	Z ₇₈	Z ₇₇	Z ₇₆	Z ₇₅	Z ₇₄	Z ₇₃	Z ₇₂	Z ₇₁	Z _{7G}	Z _{7F}	Z _{7E}	Z _{7D}	Z _{7C}	Z _{7B}
Z _{6B}	Z _{6A}	Z ₆₉	Z ₆₈	Z ₆₇	Z ₆₆	Z ₆₅	Z ₆₄	Z ₆₃	Z ₆₂	Z ₆₁	Z _{6G}	Z _{6F}	Z _{6E}	Z _{6D}	Z _{6C}
Z _{5C}	Z _{5B}	Z _{5A}	Z ₅₉	Z ₅₈	Z ₅₇	Z ₅₆	Z ₅₅	Z ₅₄	Z ₅₃	Z ₅₂	Z ₅₁	Z _{5G}	Z _{5F}	Z _{5E}	Z _{5D}
Z _{4D}	Z _{4C}	Z _{4B}	Z _{4A}	Z ₄₅	Z ₄₈	Z ₄₇	Z ₄₆	Z ₄₅	Z ₄₄	Z ₄₃	Z ₄₂	Z ₄₁	Z _{4G}	Z _{4F}	Z _{4E}
Z _{3E}	Z _{3D}	Z _{3C}	Z _{3B}	Z _{3A}	Z ₃₉	Z ₃₈	Z ₃₇	Z ₃₆	Z ₃₅	Z ₃₄	Z ₃₃	Z ₃₂	Z ₃₁	Z _{3G}	Z _{3F}
Z _{2F}	Z _{2E}	Z _{2D}	Z _{2C}	Z _{2B}	Z _{2A}	Z ₂₉	Z ₂₈	Z ₂₇	Z ₂₆	Z ₂₅	Z ₂₄	Z ₂₃	Z ₂₂	Z ₂₁	Z _{2G}
Z _{1G}	Z _{1F}	Z _{1E}	Z _{1D}	Z _{1C}	Z _{1B}	Z _{1A}	Z ₁₉	Z ₁₈	Z ₁₇	Z ₁₆	Z ₁₅	Z ₁₄	Z ₁₃	Z ₁₂	Z ₁₁

16x16

Add Round Key: Round key 1 obtained by the key algorithm and the last matrix obtained by the inverse reaction are added with each other.

The new matrix that is formed goes into the loop again, and goes to 4. AddRoundkey and processes it with Roundkey2. So the cycle takes

place 15 times the same process. In the last step, it is processed with roundkey16 and encrypted.

Key Algorithm

In this section, we show how to create a key.

First, let's consider a rcon matrix as in Table 12.

Table 12. Rcon matrix

k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	k_{1A}	k_{1B}	k_{1C}	k_{1D}	k_{1E}	k_{1F}	k_{1G}
k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	k_{27}	k_{28}	k_{29}	k_{2A}	k_{2B}	k_{2C}	k_{2D}	k_{2E}	k_{2F}	k_{2G}
k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{34}	k_{35}	k_{36}	k_{37}	k_{38}	k_{39}	k_{3A}	k_{3B}	k_{3C}	k_{3D}	k_{3E}	k_{3F}	k_{3G}
k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}	k_{46}	k_{47}	k_{48}	k_{49}	k_{4A}	k_{4B}	k_{4C}	k_{4D}	k_{4E}	k_{4F}	k_{4G}
k_{51}	k_{52}	k_{53}	k_{54}	k_{55}	k_{56}	k_{57}	k_{58}	k_{59}	k_{5A}	k_{5B}	k_{5C}	k_{5D}	k_{5E}	k_{5F}	k_{5G}
k_{61}	k_{62}	k_{63}	k_{64}	k_{65}	k_{66}	k_{67}	k_{68}	k_{69}	k_{6A}	k_{6B}	k_{6C}	k_{6D}	k_{6E}	k_{6F}	k_{6G}
k_{71}	k_{72}	k_{73}	k_{74}	k_{75}	k_{76}	k_{77}	k_{78}	k_{79}	k_{7A}	k_{7B}	k_{7C}	k_{7D}	k_{7E}	k_{7F}	k_{7G}
k_{81}	k_{82}	k_{83}	k_{84}	k_{85}	k_{86}	k_{87}	k_{88}	k_{89}	k_{8A}	k_{8B}	k_{8C}	k_{8D}	k_{8E}	k_{8F}	k_{8G}
k_{91}	k_{92}	k_{93}	k_{94}	k_{95}	k_{96}	k_{97}	k_{98}	k_{99}	k_{9A}	k_{9B}	k_{9C}	k_{9D}	k_{9E}	k_{9F}	k_{9G}
k_{A1}	k_{A2}	k_{A3}	k_{A4}	k_{A5}	k_{A6}	k_{A7}	k_{A8}	k_{A9}	k_{AA}	k_{AB}	k_{AC}	k_{AD}	k_{AE}	k_{AF}	k_{AG}
k_{B1}	k_{B2}	k_{B3}	k_{B4}	k_{B5}	k_{B6}	k_{B7}	k_{B8}	k_{B9}	k_{BA}	k_{BB}	k_{BC}	k_{BD}	k_{BE}	k_{BF}	k_{BG}
k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}	k_{C5}	k_{C6}	k_{C7}	k_{C8}	k_{C9}	k_{CA}	k_{CB}	k_{CC}	k_{CD}	k_{CE}	k_{CF}	k_{CG}
k_{D1}	k_{D2}	k_{D3}	k_{D4}	k_{D5}	k_{D6}	k_{D7}	k_{D8}	k_{D9}	k_{DA}	k_{DB}	k_{DC}	k_{DD}	k_{DE}	k_{DF}	k_{DG}
k_{E1}	k_{E2}	k_{E3}	k_{E4}	k_{E5}	k_{E6}	k_{E7}	k_{E8}	k_{E9}	k_{EA}	k_{EB}	k_{EC}	k_{ED}	k_{EE}	k_{EF}	k_{EG}
k_{F1}	k_{F2}	k_{F3}	k_{F4}	k_{F5}	k_{F6}	k_{F7}	k_{F8}	k_{F9}	k_{FA}	k_{FB}	k_{FC}	k_{FD}	k_{FE}	k_{FF}	k_{FG}
k_{G1}	k_{G2}	k_{G3}	k_{G4}	k_{G5}	k_{G6}	k_{G7}	k_{G8}	k_{G9}	k_{GA}	k_{GB}	k_{GC}	k_{GD}	k_{GE}	k_{GF}	k_{GG}

1.Step. The following shifts are performed in the first and sixteenth columns of the input 16×16 matrix.

- the first column is cyclically shifted one value to the up
- sixteenth column is cyclically shifted one value to the down

This transformation is shown in Table 13.

Table 13. Shifted cipher key matrix

$$\left(\begin{array}{cccccccccccccccc} y_{G1} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{15} & y_{16} & y_{17} & y_{18} & y_{19} & y_{1A} & y_{1B} & y_{1C} & y_{1D} & y_{1E} & y_{1F} & y_{2G} \\ y_{11} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & y_{25} & y_{26} & y_{27} & y_{28} & y_{29} & y_{2A} & y_{2B} & y_{2C} & y_{2D} & y_{2E} & y_{2F} & y_{3G} \\ y_{21} & y_{32} & y_{33} & y_{34} & y_{35} & y_{36} & y_{37} & y_{38} & y_{39} & y_{3A} & y_{3B} & y_{3C} & y_{3D} & y_{3E} & y_{3F} & y_{4G} \\ y_{31} & y_{42} & y_{43} & y_{44} & y_{45} & y_{46} & y_{47} & y_{48} & y_{49} & y_{4A} & y_{4B} & y_{4C} & y_{4D} & y_{4E} & y_{4F} & y_{5G} \\ y_{41} & y_{52} & y_{53} & y_{54} & y_{55} & y_{56} & y_{57} & y_{58} & y_{59} & y_{5A} & y_{5B} & y_{5C} & y_{5D} & y_{5E} & y_{5F} & y_{6G} \\ y_{51} & y_{62} & y_{63} & y_{64} & y_{65} & y_{66} & y_{67} & y_{68} & y_{69} & y_{6A} & y_{6B} & y_{6C} & y_{6D} & y_{6E} & y_{6F} & y_{7G} \\ y_{61} & y_{72} & y_{73} & y_{74} & y_{75} & y_{76} & y_{77} & y_{78} & y_{79} & y_{7A} & y_{7B} & y_{7C} & y_{7D} & y_{7E} & y_{7F} & y_{8G} \\ y_{71} & y_{82} & y_{83} & y_{84} & y_{85} & y_{86} & y_{87} & y_{88} & y_{89} & y_{8A} & y_{8B} & y_{8C} & y_{8D} & y_{8E} & y_{8F} & y_{9G} \\ y_{81} & y_{92} & y_{93} & y_{94} & y_{95} & y_{96} & y_{97} & y_{98} & y_{99} & y_{9A} & y_{9B} & y_{9C} & y_{9D} & y_{9E} & y_{9F} & y_{AG} \\ y_{91} & y_{A2} & y_{A3} & y_{A4} & y_{A5} & y_{A6} & y_{A7} & y_{A8} & y_{A9} & y_{AA} & y_{AB} & y_{AC} & y_{AD} & y_{AE} & y_{AF} & y_{BG} \\ y_{A1} & y_{B2} & y_{B3} & y_{B4} & y_{B5} & y_{B6} & y_{B7} & y_{B8} & y_{B9} & y_{BA} & y_{BB} & y_{BC} & y_{BD} & y_{BE} & y_{BF} & y_{CG} \\ y_{B1} & y_{C2} & y_{C3} & y_{C4} & y_{C5} & y_{C6} & y_{C7} & y_{C8} & y_{C9} & y_{CA} & y_{CB} & y_{CC} & y_{CD} & y_{CE} & y_{CF} & y_{DG} \\ y_{C1} & y_{D2} & y_{D3} & y_{D4} & y_{D5} & y_{D6} & y_{D7} & y_{D8} & y_{D9} & y_{DA} & y_{DB} & y_{DC} & y_{DD} & y_{DE} & y_{DF} & y_{EG} \\ y_{D1} & y_{E2} & y_{E3} & y_{E4} & y_{E5} & y_{E6} & y_{E7} & y_{E8} & y_{E9} & y_{EA} & y_{EB} & y_{EC} & y_{ED} & y_{EE} & y_{EF} & y_{FG} \\ y_{E1} & y_{F2} & y_{F3} & y_{F4} & y_{F5} & y_{F6} & y_{F7} & y_{F8} & y_{F9} & y_{FA} & y_{FB} & y_{FC} & y_{FD} & y_{FE} & y_{FF} & y_{GG} \\ y_{F1} & y_{G2} & y_{G3} & y_{G4} & y_{G5} & y_{G6} & y_{G7} & y_{G8} & y_{G9} & y_{GA} & y_{GB} & y_{GC} & y_{GD} & y_{GE} & y_{GF} & y_{IG} \end{array} \right)_{16 \times 16}$$

Then, the first and the sixteenth columns of the rcon matrix. So, we reach in Table 14. matrix in Table 13 are added with the first column of the

Table 14. Adding column matrices

$$\left(\begin{array}{c} y_{G1} \\ y_{11} \\ y_{21} \\ y_{31} \\ y_{41} \\ y_{51} \\ y_{61} \\ y_{71} \\ y_{81} \\ y_{91} \\ y_{A1} \\ y_{B1} \\ y_{C1} \\ y_{D1} \\ y_{E1} \\ y_{F1} \\ y_{G1} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} y_{2G} \\ y_{3G} \\ y_{4G} \\ y_{5G} \\ y_{6G} \\ y_{7G} \\ y_{8G} \\ y_{9G} \\ y_{AG} \\ y_{BG} \\ y_{CG} \\ y_{DG} \\ y_{EG} \\ y_{FG} \\ y_{GG} \\ y_{IG} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} k_{11} \\ k_{21} \\ k_{31} \\ k_{41} \\ k_{51} \\ k_{61} \\ k_{71} \\ k_{81} \\ k_{91} \\ k_{A1} \\ k_{B1} \\ k_{C1} \\ k_{D1} \\ k_{E1} \\ k_{F1} \\ k_{G1} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} y_{1H} \\ y_{2H} \\ y_{3H} \\ y_{4H} \\ y_{5H} \\ y_{6H} \\ y_{7H} \\ y_{8H} \\ y_{9H} \\ y_{AH} \\ y_{BH} \\ y_{CH} \\ y_{DH} \\ y_{EH} \\ y_{FH} \\ y_{GH} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} y_{12} \\ y_{22} \\ y_{32} \\ y_{42} \\ y_{52} \\ y_{62} \\ y_{72} \\ y_{82} \\ y_{92} \\ y_{A2} \\ y_{B2} \\ y_{C2} \\ y_{D2} \\ y_{E2} \\ y_{F2} \\ y_{G2} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} y_{1H} \\ y_{2H} \\ y_{3H} \\ y_{4H} \\ y_{5H} \\ y_{6H} \\ y_{7H} \\ y_{8H} \\ y_{9H} \\ y_{AH} \\ y_{BH} \\ y_{CH} \\ y_{DH} \\ y_{EH} \\ y_{FH} \\ y_{GH} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} y_{1I} \\ y_{2I} \\ y_{3I} \\ y_{4I} \\ y_{5I} \\ y_{6I} \\ y_{7I} \\ y_{8I} \\ y_{9I} \\ y_{AI} \\ y_{BI} \\ y_{CI} \\ y_{DI} \\ y_{EI} \\ y_{FI} \\ y_{GI} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} y_{13} \\ y_{23} \\ y_{33} \\ y_{43} \\ y_{53} \\ y_{63} \\ y_{73} \\ y_{83} \\ y_{93} \\ y_{A3} \\ y_{B3} \\ y_{C3} \\ y_{D3} \\ y_{E3} \\ y_{F3} \\ y_{G3} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} y_{1I} \\ y_{2I} \\ y_{3I} \\ y_{4I} \\ y_{5I} \\ y_{6I} \\ y_{7I} \\ y_{8I} \\ y_{9I} \\ y_{AI} \\ y_{BI} \\ y_{CI} \\ y_{DI} \\ y_{EI} \\ y_{FI} \\ y_{GI} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} y_{1J} \\ y_{2J} \\ y_{3J} \\ y_{4J} \\ y_{5J} \\ y_{6J} \\ y_{7J} \\ y_{8J} \\ y_{9J} \\ y_{AJ} \\ y_{BJ} \\ y_{CJ} \\ y_{DJ} \\ y_{EJ} \\ y_{FJ} \\ y_{GJ} \end{array} \right), \dots$$

By the continuation of the process above, the round key 1 is generated as in Table 15.

Table 15. Round key 1 matrix

$$\begin{pmatrix}
 y_{1H} & y_{1I} & y_{1J} & y_{1K} & y_{1L} & y_{1M} & y_{1N} & y_{1O} & y_{1P} & y_{1Q} & y_{1R} & y_{1S} & y_{1T} & y_{1U} & y_{1V} & y_{1W} \\
 y_{21H} & y_{21I} & y_{21J} & y_{21K} & y_{21L} & y_{21M} & y_{21N} & y_{21O} & y_{21P} & y_{21Q} & y_{21R} & y_{21S} & y_{21T} & y_{21U} & y_{21V} & y_{21W} \\
 y_{3H} & y_{3I} & y_{3J} & y_{3K} & y_{3L} & y_{3M} & y_{3N} & y_{3O} & y_{3P} & y_{3Q} & y_{3R} & y_{3S} & y_{3T} & y_{3U} & y_{3V} & y_{3W} \\
 y_{4H} & y_{4I} & y_{4J} & y_{4K} & y_{4L} & y_{4M} & y_{4N} & y_{4O} & y_{4P} & y_{4Q} & y_{4R} & y_{4S} & y_{4T} & y_{4U} & y_{4V} & y_{4W} \\
 y_{5H} & y_{5I} & y_{5J} & y_{5K} & y_{5L} & y_{5M} & y_{5N} & y_{5O} & y_{5P} & y_{5Q} & y_{5R} & y_{5S} & y_{5T} & y_{5U} & y_{5V} & y_{5W} \\
 y_{6H} & y_{6I} & y_{6J} & y_{6K} & y_{6L} & y_{6M} & y_{6N} & y_{6O} & y_{6P} & y_{6Q} & y_{6R} & y_{6S} & y_{6T} & y_{6U} & y_{6V} & y_{6W} \\
 y_{7H} & y_{7I} & y_{7J} & y_{7K} & y_{7L} & y_{7M} & y_{7N} & y_{7O} & y_{7P} & y_{7Q} & y_{7R} & y_{7S} & y_{7T} & y_{7U} & y_{7V} & y_{7W} \\
 y_{8H} & y_{8I} & y_{8J} & y_{8K} & y_{8L} & y_{8M} & y_{8N} & y_{8O} & y_{8P} & y_{8Q} & y_{8R} & y_{8S} & y_{8T} & y_{8U} & y_{8V} & y_{8W} \\
 y_{9H} & y_{9I} & y_{9J} & y_{9K} & y_{9L} & y_{9M} & y_{9N} & y_{9O} & y_{9P} & y_{9Q} & y_{9R} & y_{9S} & y_{9T} & y_{9U} & y_{9V} & y_{9W} \\
 y_{AH} & y_{AI} & y_{AJ} & y_{AK} & y_{AL} & y_{AM} & y_{AN} & y_{AO} & y_{AP} & y_{AQ} & y_{AR} & y_{AS} & y_{AT} & y_{AU} & y_{AV} & y_{AW} \\
 y_{BH} & y_{BI} & y_{BJ} & y_{BK} & y_{BL} & y_{BM} & y_{BN} & y_{BO} & y_{BP} & y_{BQ} & y_{BR} & y_{BS} & y_{BT} & y_{BU} & y_{BV} & y_{BW} \\
 y_{CH} & y_{CI} & y_{CJ} & y_{CK} & y_{CL} & y_{CM} & y_{CN} & y_{CO} & y_{CP} & y_{CQ} & y_{CR} & y_{CS} & y_{CT} & y_{CU} & y_{CV} & y_{CW} \\
 y_{DH} & y_{DI} & y_{DJ} & y_{DK} & y_{DL} & y_{DM} & y_{DN} & y_{DO} & y_{DP} & y_{DQ} & y_{DR} & y_{DS} & y_{DT} & y_{DU} & y_{DV} & y_{DW} \\
 y_{EH} & y_{EI} & y_{EJ} & y_{EK} & y_{EL} & y_{EM} & y_{EN} & y_{EO} & y_{EP} & y_{EQ} & y_{ER} & y_{ES} & y_{ET} & y_{EU} & y_{EV} & y_{EW} \\
 y_{FH} & y_{FI} & y_{FJ} & y_{FK} & y_{FL} & y_{FM} & y_{FN} & y_{FO} & y_{FP} & y_{FQ} & y_{FR} & y_{FS} & y_{FT} & y_{FU} & y_{FV} & y_{FW} \\
 y_{GH} & y_{GI} & y_{GJ} & y_{GK} & y_{GL} & y_{GM} & y_{GN} & y_{GO} & y_{GP} & y_{GQ} & y_{GR} & y_{GS} & y_{GT} & y_{GU} & y_{GV} & y_{GW}
 \end{pmatrix}$$

2.Step. In the newly formed round key 1, the first column is cyclically shifted one value to the up and sixteenth column is cyclically shifted one value to the down. Then, the elements of the first column, the sixteenth column of the type matrix and the second

column of the Rcon matrix realize the addition with each other from the first row to sixteenth-row elements. By the continuation of the process in Table 16, the round key 2 is generated.

Table 16. Adding column matrices 2

$$\begin{pmatrix} y_{GH} \\ y_{1H} \\ y_{2H} \\ y_{3H} \\ y_{4H} \\ y_{5H} \\ y_{6H} \\ y_{7H} \\ y_{8H} \\ y_{9H} \\ y_{AH} \\ y_{BH} \\ y_{CH} \\ y_{DH} \\ y_{EH} \\ y_{FH} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_{2W} \\ y_{3W} \\ y_{4W} \\ y_{5W} \\ y_{6W} \\ y_{7W} \\ y_{8W} \\ y_{9W} \\ y_{AW} \\ y_{BW} \\ y_{CW} \\ y_{DW} \\ y_{EW} \\ y_{FW} \\ y_{GW} \\ y_{1W} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_{12} \\ k_{22} \\ k_{32} \\ k_{42} \\ k_{52} \\ k_{62} \\ k_{72} \\ k_{82} \\ k_{92} \\ k_{A2} \\ k_{B2} \\ k_{C2} \\ k_{D2} \\ k_{E2} \\ k_{F2} \\ k_{G2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{1X} \\ y_{2X} \\ y_{3X} \\ y_{4X} \\ y_{5X} \\ y_{6X} \\ y_{7X} \\ y_{8X} \\ y_{9X} \\ y_{AX} \\ y_{BX} \\ y_{CX} \\ y_{DX} \\ y_{EX} \\ y_{FX} \\ y_{GX} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} y_{1I} \\ y_{2I} \\ y_{3I} \\ y_{4I} \\ y_{5I} \\ y_{6I} \\ y_{7I} \\ y_{8I} \\ y_{9I} \\ y_{AI} \\ y_{BI} \\ y_{CI} \\ y_{DI} \\ y_{EI} \\ y_{FI} \\ y_{GI} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_{1X} \\ y_{2X} \\ y_{3X} \\ y_{4X} \\ y_{5X} \\ y_{6X} \\ y_{7X} \\ y_{8X} \\ y_{9X} \\ y_{AX} \\ y_{BX} \\ y_{CX} \\ y_{DX} \\ y_{EX} \\ y_{FX} \\ y_{GX} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{1Y} \\ y_{2Y} \\ y_{3Y} \\ y_{4Y} \\ y_{5Y} \\ y_{6Y} \\ y_{7Y} \\ y_{8Y} \\ y_{9Y} \\ y_{AY} \\ y_{BY} \\ y_{CY} \\ y_{DY} \\ y_{EY} \\ y_{FY} \\ y_{GY} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} y_{1J} \\ y_{2J} \\ y_{3J} \\ y_{4J} \\ y_{5J} \\ y_{6J} \\ y_{7J} \\ y_{8J} \\ y_{9J} \\ y_{AJ} \\ y_{BJ} \\ y_{CJ} \\ y_{DJ} \\ y_{EJ} \\ y_{FJ} \\ y_{GJ} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_{1Y} \\ y_{2Y} \\ y_{3Y} \\ y_{4Y} \\ y_{5Y} \\ y_{6Y} \\ y_{7Y} \\ y_{8Y} \\ y_{9Y} \\ y_{AY} \\ y_{BY} \\ y_{CY} \\ y_{DY} \\ y_{EY} \\ y_{FY} \\ y_{GY} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{1Z} \\ y_{2Z} \\ y_{3Z} \\ y_{4Z} \\ y_{5Z} \\ y_{6Z} \\ y_{7Z} \\ y_{8Z} \\ y_{9Z} \\ y_{AZ} \\ y_{BZ} \\ y_{CZ} \\ y_{DZ} \\ y_{EZ} \\ y_{FZ} \\ y_{GZ} \end{pmatrix}, \dots$$

So, we reach other roundkeys by doing the other steps in this way.

The MES Encryption Process

MES decryption is similar to encryption in reverse order. In each cycle, the operations done in the encryption process are reversed,

- Add round key
- Inverse Reflection
- Shift collumns
- Transpose

Since sub-processes in each round are in reverse manner, the encryption and decryption algorithms needs to be separately implemented, although they are very closely related. So, The inverse of the 16×16 matrix key used in the MES encryption algorithm is taken in the computer environment and the encrypted text is decoded.

Conclusions

In this study, it investigates how an encryption algorithm obtains and how secure it would be by applying only matrix operations without using polynomials on the Galois finite field

axioms and S-box table applied in the AES encryption algorithm. So, a new 256-bit encryption algorithm called matrix encryption standard (MES) obtain. Cipher key of its encryption algorithm decrypts in 2^{256} attempts.

References

- [1] Avaroğlu, E., Dişkaya, O., and Menken, H. "The classical aes-like cryptology via the Fibonacci polynomial matrix". *Turkish journal of engineering*, 4(3), 123-128, 2020.
- [2] Ayres, F., and Jaisingh, L. R. "Schaum's outline of theory and problems of abstract algebra". McGraw-Hill, 2004.
- [3] Kak, Avi. "Lecture 8: AES: The advanced encryption standard." *Lecture Notes on Computer and Network Security*, Purdue University, URL: <https://engineering.purdue.edu/kak/compsec/NewLectures/Lecture8.pdf>. 2016.
- [4] Koc, C. K. "About cryptographic engineering." *Cryptographic engineering*. Springer, Boston, MA, 1-4, 2009.
- [5] Paar, C., and Pelzl, J. "Understanding cryptography: a textbook for students and practitioners". Springer Science & Business Media, 2009.
- [6] Stinson, D. R., and Paterson, M. "Cryptography: theory and practice". CRC press, 2018.



A Comprehensive Performance Comparison of Dedicated and Embedded GPU Systems

Adnan Ozsoy ^{1,*}

¹ Department of Computer Engineering, Hacettepe University, adnan.ozsoy@hacettepe.edu.tr
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0302-3721>)

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 May 2020
Received in revised form 29 June 2020
Accepted 9 July 2020
Available online 30 September 2020

Keywords: NVIDIA Jetson,
Embedded GPGPU, CUDA

ABSTRACT

General purpose usage of graphics processing units (GPGPU) is becoming increasingly important as graphics processing units (GPUs) get more powerful and their widespread usage in performance-oriented computing. GPGPUs are mainstream performance hardware in workstation and cluster environments and their behavior in such setups are highly analyzed. Recently, NVIDIA, the leader hardware and software vendor in GPGPU computing, started to produce more energy efficient embedded GPGPU systems, Jetson series GPUs, to make GPGPU computing more applicable in domains where energy and space are limited. Although, the architecture of the GPUs in Jetson systems is the same as the traditional dedicated desktop graphic cards, the interaction between the GPU and the other components of the system such as main memory, central processing unit (CPU), and hard disk, is a lot different than traditional desktop solutions. To fully understand the capabilities of the Jetson series embedded solutions, in this paper we run several applications from many different domains and compare the performance characteristics of these applications on both embedded and dedicated desktop GPUs. After analyzing the collected data, we have identified certain application domains and program behaviors that Jetson series can deliver performance comparable to dedicated GPU performance.

Doi: 10.24012/dumf.742732

* Corresponding author
Adnan Ozsoy
✉ adnan.ozsoy@hacettepe.edu.tr

Introduction

The use of graphics processing units (GPUs) become more prevalent for accelerating non-graphics computations as their computation power leave central processing units (CPUs) behind [1]. Especially in fields where large data sets need to be processed and the process is parallelizable. There is a huge and expanding gap between CPU performance and GPU performance due to graphical processing units' architecture and massive core count [2]. As a result, general purpose graphics processing units (GPGPU) is gaining importance and popularity as a powerhouse system.

General purpose GPU computing (GPGPU) is practiced in many fields such as image classification, speech recognition, language processing, sentiment analysis, video captioning, video surveillance, face detection, satellite imagery, etc. [3, 4]. Other than those fields, it is used in scientific computing, especially in bioinformatics for purposes like cancer cell detection, diabetic grading and drug discovery [5]. Moreover, GPUs are widely used in researches on the topic of autonomous vehicles as well [6]. Even though those fields seem to be unrelated, techniques used for solving their problems share a lot in common. For instance, pedestrian detection, image classification and speech recognition all use deep learning and convolutional neural networks. Both require high performance accelerator to solve compute intensive problems. As a consequence, GPGPU plays a big role for many fields that are different from each other but all require to solve compute intensive problems.

Computational needs for the systems on the field and mobile platforms in the recent years forced an additional product line of hardware and software solutions. This shift from more capable and complete systems of desktop/workstation machines to mobile hardware shows its existence in several areas. Self-driving cars, drones, field processing units, computer vision, machine learning applications and also IoT applications are examples for this growing area of mobile and embedded computing. To satisfy the mobile computing needs in these areas, NVIDIA released a series of embedded devices, called Jetson series [7]. Jetson embedded platform provides a rapid development environment and deploy process for compute-hungry applications with more

efficiency in terms of energy, cost and space. Jetson platforms are the first of its kind as a mobile supercomputer where it both facilitates ARM CPUs and a very capable GPU. This system-on-chip structure and the accompanying host module with necessary I/O gates act as a complete system.

Although Jetson systems are energy, cost and space efficient, their computation capabilities are falling short compared to dedicated off-the-shelf desktop grade GPUs which have higher core counts and bigger memories. However, there are studies that experiment Jetson cards on different applications and report that the slowdown of Jetson performance compared to dedicated GPUs is not always as big as the theoretical core ratio [8]. When choosing a hardware for a specific task, it is hard to make a decision on which hardware will suit the needs for that specific task. There is a lack of a comprehensive comparison of embedded and dedicated GPUs in the literature and the capabilities of Jetson series are not truly investigated and compared against the dedicated GPUs.

In this study, we provide a comprehensive comparison of embedded and dedicated GPUs which is missing in the literature. In our tests we use an NVIDIA GeForce Titan X and a Jetson TX2. Through extensive benchmarking and comparing these devices for different applications, it will be possible to investigate strengths and weaknesses of the embedded GPGPU solutions against dedicated desktop solutions. To truly understand their capabilities and exploit these cards to several scenarios of application use, we tested these two cards on two main benchmarks. As novel contributions of this paper, we provide a performance guideline of mainstream application domains for NVIDIA embedded Jetson Series Cards, give a comparison between Desktop level GPUs (Titan X) and embedded Jetson series (Jetson TX2), identify application domains and behavior that suit better on Jetson series in terms of space, cost and energy efficiency.

The rest of the paper is formed as follows. Section 2 lists related work in the field. Section 3 provides background information for NVIDIA GPGPU Framework and difference in dedicated and embedded GPUs. Section 4 introduces benchmark suites used for tests. Section 5 gives

results of tests and a thorough analysis of results. Lastly, Section 6 concludes the paper.

Related Work

In literature, there are many publications that utilize embedded GPUs for certain tasks. Jetson TK1, the first model of Jetson series, appeared in various papers after NVIDIA launched it in 2014. To list a few of them; [9] used TK1 for real-time object detection with Caffe framework, in [10] Jetson TK1 is compared with another system-on-chip device, named FireFly, and The Astro Cluster, which consists of 46 Jetson TK1 boards, is built and tested for distributed GPU tasks. After the release of Jetson TX1, the second generation of Jetson cards, it also gained popularity among researchers. [11] uses both Jetson TK1 and Jetson TX1 for comparing the performance and energy-efficiency of five different heterogeneous computing platforms for bio-molecular and cellular simulation workloads. [12] evaluates the effectiveness of Jetson TX1 in real-time computer vision workloads. Jetson TX2, the successor of Jetson TX1, is launched in March 2017. [13] experimented with Jetson TX2 on keyframe and feature-based monocular simultaneous localization and mapping (ORB-SLAM) for an unmanned aerial vehicle (UAV). [14] Facilitates TX2 for surveillance systems and face recognition. In [15] another vehicle localization for autonomous navigation uses TX2. Recently, deep-learning and vision applications also make use of the NVIDIA Jetson series cards [29,30]. In all of those publications, the Jetson series modules are tested and the performance results are reported for that specific application only.

In literature there is a wide range of publications that aim to compare accelerator hardware performance. The vast majority of these studies are between dedicated GPUs and other hardware such as field-programmable gate array (FPGAs), application-specific integrated circuit (ASICs) or multi core CPUs [16-19]. However, there is a huge demand in using the embedded GPUs because of their advantages in power, cost and size but there is no comprehensive study to identify the performance of these hardware compared to dedicated solutions. The main downside of embedded solutions is having less cores and as a result delivering less compute power. However, in a wide range of applications,

the Jetson cards capabilities may differ. In the aforementioned publications, the test results for different applications all differ in terms of slowdown a Jetson card face compared to a dedicated GPU. That indicates that Jetson cards performance needs to be analyzed comprehensively.

In this paper, we provide performance results of two commonly used and known benchmarks, compare results with the results obtained from a dedicated high-end desktop GPU vs Jetson TX2 and analyze the performance results. Different than the papers in the literature where their main focus is on a specific application performance, we focus on the general group of applications and application behavior that fit very well and very badly on Jetson series.

Background

General Purpose Graphic Processing Unit: GPGPU is the highest trend in high-performance computing which uses graphics processing units for not just graphic related tasks but also any type of general purpose computational needs. The massively parallel architecture of the GPU that is traditionally designed for only computer graphics, now used as a powerhouse for any compute intensive applications. Algorithms to be used for GPGPU must have two main properties. First, they must be data parallel. Second, they must be throughput intensive. Data parallel means that an execution of a program requires to run the same operation on many different data points. An algorithm is throughput intensive if it processes lots of data where a huge potential for parallel processing exist. With the help of the simple but many processing units on GPUs, it is possible to achieve extreme performance on data parallel HPC algorithms.

Compute Unified Device Architecture (CUDA): CUDA is a general purpose parallel computing platform introduced by NVIDIA in 2006 [20]. It enables programmers and scientists to develop applications that are aimed to work on GPU. Its application programming interface is mainly based on C but there are also bindings for various programming languages including Python and FORTRAN. The variety on language bindings provide a large number of options and easy to port existing legacy code to GPUs.

NVIDIA Jetson TX2: Jetson TX2 is a system-on-chip (SoC) product that designed for demanding embedded applications. It is a credit-card sized module running under 7.5 watts with a high processing capability. It has 8 GB of LPDDR4 memory, 32 GB eMMC storage supported with 256 cores Pascal GPU, Quad core ARM and Dual core Denver processor.

By using CUDA and Jetson TX2 developers can cope with the problems that requires high computational needs under certain space and cost limitations. Jetson TX2 is also suitable for applications which have limited access to an energy resource since its low-energy usage.

Benchmarks: In the testing phase, two different benchmark suites, Paralution and SHOC, are used to test Jetson TX2 and GeForce Titan X cards. Both benchmark tests include several applications from very different domains that provide a good coverage of capabilities.

Paralution: Benchmark suite Paralution is a library for sparse iterative methods with CUDA support [21]. Paralution contains 25 applications which include parallel solvers and preconditioners which can run on GPU. Those applications are mainly based on C/C++ but it has also plug-ins for some other platforms including FORTRAN, MATLAB and OpenFOAM. It also supports many sparse matrix representations (e.g. COO, CSR, DIA etc.). In addition to iterative solvers and preconditioners, PARALUTION includes a benchmark application that applies several matrix operations on the matrices given as input and gives total execution time as output.

SHOC: The Scalable Heterogeneous Computing Benchmark Suite [22], SHOC, is a group of testing programs to analyze characteristics and behavior of GPU and multicore processors. Inputs used in the benchmark are provided in the package itself. This benchmark suite includes 3 levels of programs from Low to High level operations:

- Level 0 has bus speed, memory latency and bandwidth and peak flops tests for single and double precision.
- Level 1 has Fast Fourier Transform, reduction, matrix multiplications, scan, sort tests.

- Level 2 has high level programs like Quality Threshold Clustering algorithm and chemical applications.

Results and Analysis

We ran benchmarks on two distinct systems; embedded development platform Jetson TX2 and GeForce Titan X GPU mainly used in desktop machines. Since we only interested in GPU performance, the rest of the specifications of the systems are not related in the scope of this paper. Jetson TX2 technical specifications are discussed in background section. Table-1 shows an overall comparison between Jetson TX2 and GeForce Titan X [23, 24].

Table-1 shows that GeForce Titan X has 12 times more cores, 1.5 times more memory than Jetson TX2. The individual core speed of Jetson TX2 is 1.3 times faster than cores in Titan X. Thus, the theoretical computational slowdown ratio of porting an application to a Jetson TX2 rather than Titan X is 9.23 times (12/1.3).

Table 1. Jetson TX2 and Titan X Technical Specifications

	Jetson TX2	GeForce Titan X
GPU	NVIDIA Pascal 256 cores @1300 MHz	NVIDIA Maxwell 3072 cores @1000 MHz
CPU	Quad ARM A57 + Dual Denver2	N/A
Memory	8 GB	12 GB
Storage	32GB	N/A
Power	7.5W	250W
Price	\$400	\$1200

Downside of Titan X is that it consumes 33 times more power than TX2 respectively, and the total power consumption is even worse in practice since it must be a component of a system where the system will also consume energy. Other than these technical features, their costs should be considered too. As of March 2020, EVGA GeForce Titan X [25] costs \$1,199.99 whereas NVIDIA Jetson TX2 costs \$399.99 [26]. So, GeForce Titan X is far more expensive (3x more than TX2) than Jetson cards. Also, buying a GeForce Titan X will not be sufficient and in order to build a complete system, developers

should spend approximately \$2000-\$5000 more to have a complete system and that is even more costly than Jetson development kits. When analyzing the results, we consider these advantages and disadvantages of GeForce Titan X and Jetson TX series.

Paralution Tests: Paralution does not come with its own dataset so we collected matrix sets from Matrix Market [27] and The SuiteSparse Matrix Collection [28] to conduct Paralution benchmarks. There are different categories of matrices, thus we tried to pick matrices from divergent domains. After running benchmark on matrices collected initially, we collected a second set of matrices according to our observations from the obtained results. For each matrix in these sets, we ran benchmarks on Jetson TX2 and GeForce Titan X. Then, we compared the results and observed where the gap between these three devices expands and shrinks.

Benchmark application outputs 16 different execution times for different operations. There are two types of benchmarks; Stand-alone and combined benchmarks. In stand-alone benchmarks, the application executes certain operation for N times without applying another operation. In combined benchmarks, however, it executes all operations sequentially and repeats that block for N times.

Stand-alone and combined benchmark values are prefixed with SA_ and C_ on figures, respectively. On the X-axis, matrix names are present and Y-axis shows slowdown which is equal to Equation 1 for each matrix and operation.

$$\text{Slowdown} = \frac{(\text{Execution time on Jetson TX2})}{(\text{Execution time on GeForce Titan X})} \quad (1)$$

Benchmark’s results for matrix set-1 can be seen on Figure 1. The benchmark results show a variety of slow down rates among different operations and different matrix kinds. The slowdowns are expected since the computational power is 9.23x times less than Titan X as explained at the beginning of this section. However, not all slowdowns are around expected range, some of them are more, some are less that requires a deeper look into the results.

The operation with highest slowdown is SA_DIA SpMV (14.74x on average) and the performance of systems is at its closest point for SA_COO

SpMV (3.14x on average) operation. After observing these results above, we decided to concentrate on SpMV (Sparse Matrix Vector Multiplication) operations which use different sparse matrix formats since the values recorded for those operations contain extreme cases; the highest and lowest slowdowns. So, we eliminate other operations and decide to prepare a new input set for SpMV operations. For that purpose, we collect matrices which have different structures for our second matrix set. We choose 31 new matrices for 3 types of structures: banded, block triangular and diagonal. Results for matrix set-2 are in Figure 2, 3 and 4.

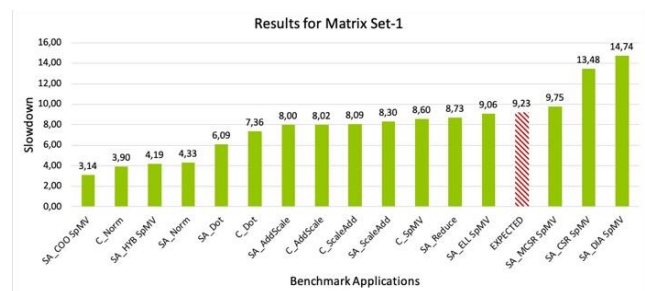


Figure 1. Benchmark results for matrix set 1. Matrices ordered by descending nonzero elements vs Slowdown.

Analyzing results taken from matrix set-1 and set-2, we conclude that representation of the matrices is crucially important for devices’ performance. For applications which use banded matrices that are less sparse, the Jetson TX2 shows more slowdown than more sparse matrices. In some cases, more than theoretical slowdown has been witnessed (e.g. matrix bcsstk21 and MCSR format).

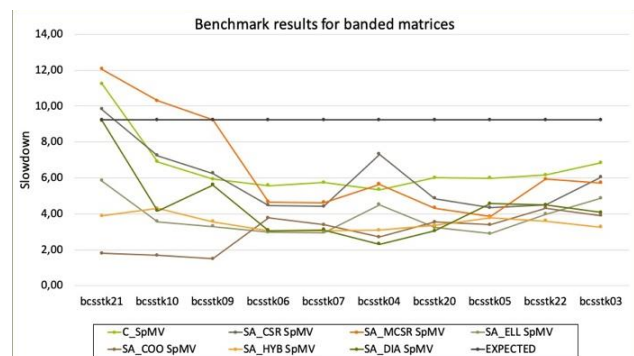


Figure 2 – Benchmark results for banded matrices. Matrix names, ordered by descending nonzero elements vs slowdown

In terms of format wise performance comparison of Jetson TX2 and GeForce Titan X, COO format has the lowest average slowdown rate than expected slowdown (GeForce Titan X is faster 3.01 times on average, expected is 9.23 times). MCSR format has the highest average slowdown rate (GeForce Titan X is faster 6.63 times on average, expected is 9.23 times).

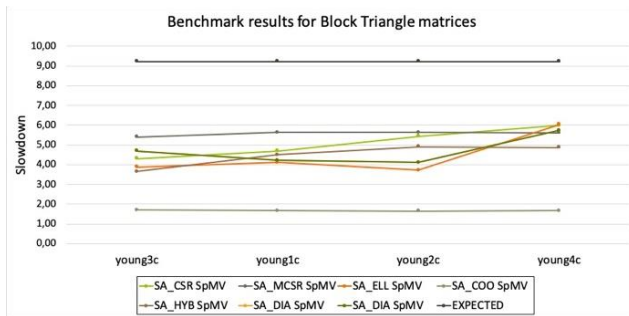


Figure 3 – Benchmark results for block triangular matrices. Matrix names, ordered by descending nonzero elements vs slowdown

For block triangle matrices, the performance of COO format matrices on Jetson TX2 gets even better with a slowdown of 1.68 times on average, expected is 9.23 times (Figure 3). Again, MCSR format on average is the worst among these formats with a slowdown of 5.57 times. However, none of the matrices in this category achieved less than the expected slowdown, making Jetson TX2 a more efficient solution than GeForce Titan X in terms of computation power efficiency. A similar trend shows in diagonal matrices as shown in Figure 4 where the Jetson TX2 shows more slowdown on less sparse matrices compared to more sparse matrices.

Considering the difference between the number of CUDA cores and core speeds (which we have discussed at the beginning of Section 4), we expected slowdown to be around 9.23 and in general tested SpMV formats performed better than expected for more sparse matrices. At the same time, GeForce Titan X has additional disadvantages in terms of power consumption and cost. Adding all together, Jetson TX2 is more efficient than GeForce Titan X for SpMV operations on those formats.

Values on Figure 2, 3 and 4 show us that performance difference between operations do not fluctuate as in Figure 1 for matrices which

have the same structure. So, the structure of the matrix plays a big role for our comparison. Also, observing Figure 4, it can be said that if the structure of the matrix is appropriate for a format, performance difference between GeForce Titan X and Jetson TX2 remains less than 5x in most cases. For example, slowdown value of SA_DIA SpMV operation changes between 3.72 and 4.24 for matrices other than bcsstm25. If the program needs to convert the format to a different one than given, then the Jetson TX2 gets negatively affected more than Titan X.

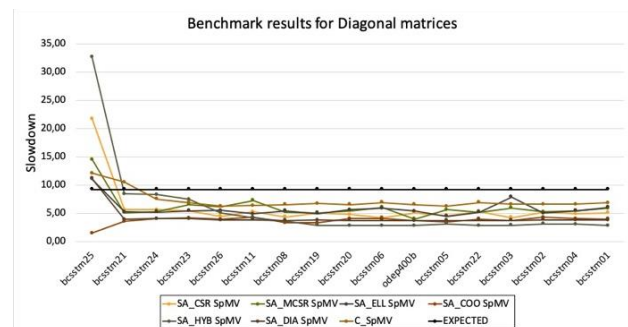


Figure 4 – Benchmark results for diagonal matrices. Matrix names, ordered by descending nnz vs Slowdown

Considering their costs, sizes and power consumptions, we concluded that Jetson TX2 is more efficient than GeForce Titan X in sparse matrix-vector multiplication operations for matching formats. This is a key finding since the use of Jetson cards are commonly thought for only mobile and limited setups, however the performance comparisons show that Jetson cards can also deliver matching performance with dedicated desktop GPUs.

SHOC Tests: SHOC benchmark is also tested both on Jetson TX2 and GeForce Titan X with the input that is provided by the package itself. The results below are obtained from input size category 3 which is suitable for Discrete GPUs. The figures have slowdown in the Y-axis and different applications on X-axis.

The slowdown rate of each test is compared to theoretical slowdown between Jetson and Titan X which is approximately 9.23x. From the results of Figure 5 we can recognize three interesting applications where the slowdown ratios are very different than expected. These three applications

are global memory read and write (gmem_*), bus speed (bspeed_*), and reduction/scan/sort operations with/without PCI Express included results.

Global Memory Read And Write: Global Memory Read and write tests applied on Jetson TX2 and Titan X with same inputs. Results are shown for aligned access and strided (uncoalesced) access. As seen in the Figure 6, when the program switches from aligned accesses to strided (uncoalesced) accesses, GeForce Titan X experience 5 times slower bandwidth for read operations from global memory and 20 times slower bandwidth for write operations. These values for Jetson TX2 are 3x and 2x, respectively.

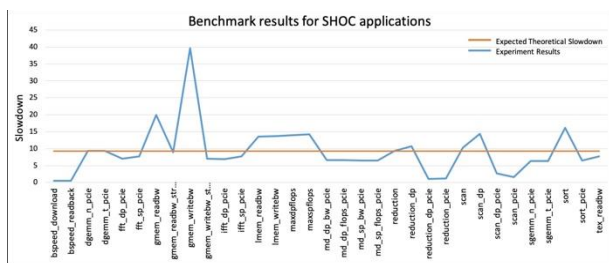


Figure 5. Benchmark results for SHOC applications slowdown rates. Applications vs Slowdown.

Global Memory Read And Write: Global Memory Read and write tests applied on Jetson TX2 and Titan X with same inputs. Results are shown for aligned access and strided (uncoalesced) access. As seen in the Figure 6, when the program switches from aligned accesses to strided (uncoalesced) accesses, GeForce Titan X experience 5 times slower bandwidth for read operations from global memory and 20 times slower bandwidth for write operations. These values for Jetson TX2 are 3x and 2x, respectively.

It is clear that both of the cards lost bandwidth performance changing from regular to irregular accesses, however, the drop in the Jetson TX2 is not as dramatic as it is on Titan X. Thus, we can say that programs that has to show irregular memory access pattern using variable access patterns to global memory can be run more effectively on Jetson TX2.

Bus Speed: Rather than a standard PCI Express connection, Jetson has a memory shared among CPU and GPU cores on the same chip. This feature gives it a competent performance with the GeForce Titan X. The Figure 7 results show that, Jetson has 2 times faster bus speed than GeForce Titan X. Programs with high memory copy tendency can work on Jetson TX2 more efficiently.

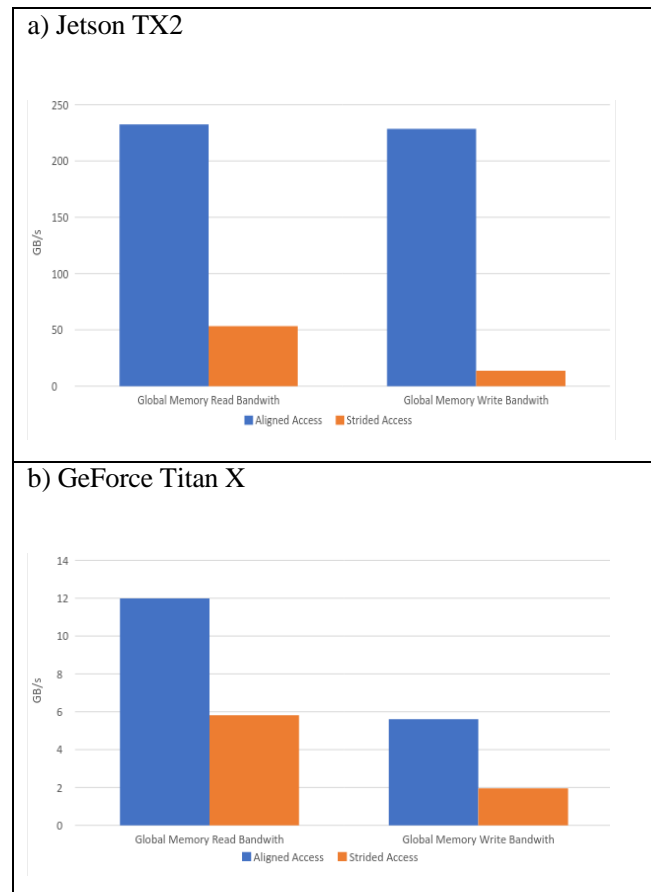


Figure 6. Global Memory tests for aligned vs strided access

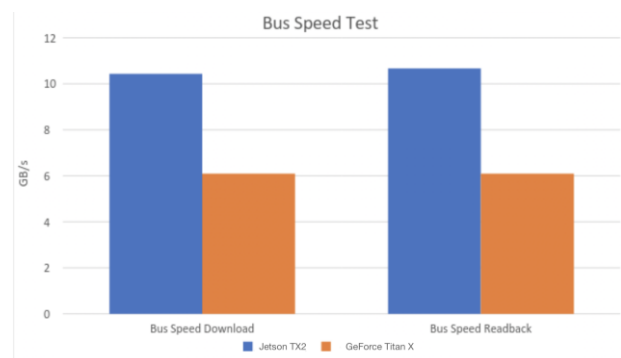


Figure 7. Bus Speed Download and Read back Tests

Reduction: Reduction test measures the performance of the reduction operation with different precision floating point data. It is applied for both single and double precision floating point numbers. For the single precision operations Jetson has a better performance than GeForce Titan X as shown Figure 8. These results include PCI Express operations and Jetson TX2 benefits from the memory that is among CPU and GPU as mentioned in bus speed section above.

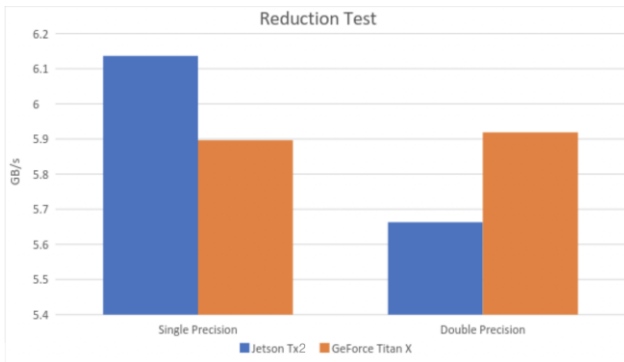


Figure 8. Reduction Operation Test Results

On double precision operations, GeForce Titan X performed better. There is an architectural difference between Jetson TX2 and GeForce Titan X where TX2 uses Pascal architecture and Titan X facilitates Maxwell architecture, thus we can say that the main reason of the difference between single and double precisions can be from behavioral reasons about architecture. However, GeForce Titan X is a high-end hardware with more Streaming Multiprocessors (SM). In each SM there is a number of specialized hardware for double precision operations, thus more SMs lead to better performance naturally. The main reason for the Jetson's better single precision performance compared to Titan X is the included PCI Express data movement cost. From the total benchmark results, we can see that version without the PCI Express is running faster on Titan.

Scan: Scan test measures the performance parallel prefix sum operation with floating point data. It is applied for both single and double precision floating point numbers. Results for this test given in Figure 9 show that, Jetson performed 2x slowdown compared to Titan X, where way better than expected slowdown rate. Slowdown rate increases more on double precision test for

similar reasons described in the reduction operation but it is still an efficient option compared to the theoretical rate. One open question is why Scan with PCI Express included is not better in Jetson. In Reduction, because of the PCI Express cost, reduction performed better on Jetson. Because of the time limitations, we leave this open problem for future work.

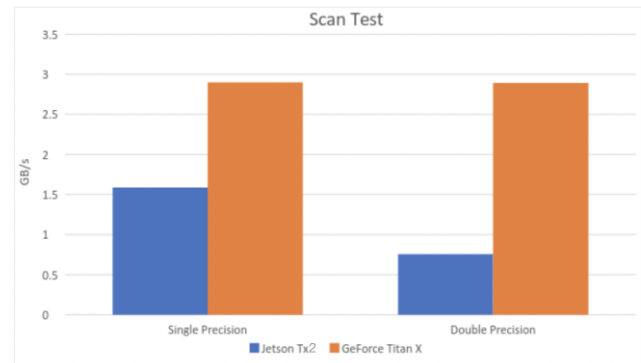


Figure 9. Scan Operation Test Results

To conclude, Jetson TX2 performed better than the expected theoretical slowdown rate in bus speed, reduction and scan tests. As a result, we can conclude, Jetson TX2 works more efficiently on program domains with high memory access needs. Also scan, sort and reduction operations especially with single precision data, work more efficiently considering the energy consumption and cost of these two hardware. Jetson's unique memory system plays a big role on this performance. Furthermore, on global memory access test, Jetson TX2 works more stable on transition between aligned and strided access. On the same test, we have observed 5-6 times more slowdown on performance with the strided global memory access. Concluding that, applications with irregular access patterns can work on Jetson TX2 more efficiently than GeForce Titan X.

Conclusion

GPGPUs are powerhouse solution for compute intensive applications where performance is the main concern. However, in recent years, the use of GPUs finds new fields. The need for high performance solutions in limited resource scenarios is always a problem and there are solutions that uses embedded hardware where the power and space is the main resource that is

scarce. However, the programming and re-use of these systems is a tedious job that requires additional skills than general programming knowledge. The recent developments in machine learning and AI created a demand in high performance hardware solutions on the field as well. Thus, NVIDIA introduced embedded solutions for resource limited scenarios, called Jetson series. Although the GPUs on the Jetson series cards have the same architecture with desktop GPUs, their use in development kits and interaction with other components of the system is different.

Consequently, in this paper we experiment with a set of applications from different domains to fully understand the capabilities of the Jetson series embedded solutions. We compared Jetson TX2 results with a high-end desktop GPU, Titan X, and analyze the results. We conclude that although the Jetson TX2 is more than an order of magnitude less equipped device than Titan X in terms of the number of cores, memory, and speed, Jetson TX2 can achieve comparable performance to Titan X for certain applications and program behavior. Our main contribution in this paper is identifying the strong side of Jetson TX2 device and provide a guide for researchers. Our tests showed us that Jetson series cards are not only devices for limited resource scenarios, but also capable to deliver good performance in certain applications.

For future work, we would like to investigate more on the energy usage side and make experiments and analyze results for energy efficiency of different applications. Because of the space limitation and scope of in this paper, we couldn't touch base on more thorough analysis of different applications and their behavior on Jetsons. Another interesting direction for future work will be multi Jetson performance through message passing protocols. Last but not least, the Jetson development kit comes with many different interfaces for other hardware. The investigation of hardware that can be connected to Jetson and their performance is an interesting open research area.

Acknowledgement

This research was supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of

Turkey) grant number 117E142 and NVIDIA GPU Teaching Center.

References

1. Reese, J. and Zaranek, S., Gpu programming in matlab. MathWorks News&Notes. Natick, MA: The MathWorks Inc, pp.22-5. 2012.
2. Kirk, D., NVIDIA CUDA software and GPU parallel computing architecture. In ISMM (Vol. 7, pp. 103-104). 2007, October.
3. Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. ImageNet classification with deep convolutional neural networks, 25th Int. Conf. on Neural Information Processing Systems, p.1097-1105. 2012.
4. CUDA Spotlight GPU Applications Showcase. <https://devblogs.nvidia.com/paralleforall/cuda-spotlight-gpu-accelerated-speech-recognition/> (Accessed at 22.05.2020)
5. GPU Technology Conference, Tutorials. <http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2015/webinar/deep-learning-course/intro-to-deep-learning.pdf> (Accessed: 22.05.2020)
6. GPU Technology Conference, Tutorials. http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2014/presentations/S46_21-deep-neural-networks-automotive-safety.pdf (Accessed: 22.05.2020)
7. NVIDIA Embedded Platform. <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-embedded-platform> (Accessed : 22.05.2020)
8. B. Baumann. "Jetson TK1", Institut Für Technische Informatik, Advanced Seminar Computer Engineering, Seminar Winter Term 2014/2015. 2015.
9. C. Alicea-Nieves. Caffe Framework on the Jetson TK1: Using Deep Learning for Real Time Object Detection. SUNFEST at PENN. (<https://sunfest.seas.upenn.edu/>) 2018.
10. R. J. Abbasi. HPCG benchmark for characterising performance of SoC devices, (Unpublished Master Thesis). The Australian National University. 2015.
11. Stone JE, Hallock MJ, Phillips JC, Peterson JR, Luthy-Schulten Z, Schulten K. Evaluation of emerging energy-efficient heterogeneous computing platforms for biomolecular and cellular simulation workloads. IEEE 30th Int. Parallel and Distr. Processing Symposium Workshops, IPDPSW. IEEE Computer Society. p. 89-100. 2016.
12. Nathan Otterness, Ming Yang, Sarah Rust, Eunbyung Park, James H. Anderson, F. Donelson Smith, Alexander C. Berg, Shige Wang. An Evaluation of the NVIDIA TX1 for Supporting Real-Time Computer-Vision Workloads. RTAS 2017: 353-364. 2017.
13. D. Bourque, CUDA-Accelerated Visual SLAM For UAVs, (Unpublished Master Thesis). Worcester Polytechnic Institute. 2017.
14. Jose, E., Greeshma, M., TP, M.H. and Supriya, M.H., March. Face recognition based surveillance system

- using facenet and mtcnn on jetson tx2. 5th Int. Conf. on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS) (pp. 608-613). IEEE. 2019.
15. Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M. and D., S., An evaluation of ROS-compatible stereo visual SLAM methods on a nVidia Jetson TX2. Measurement, 140, pp.161-170. 2019.
 16. Van Essen, B., Macaraeg, C., Gokhale, M. and Prenger, R., Accelerating a random forest classifier: Multi-core, GP-GPU, or FPGA. 20th International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (pp. 232-239). 2012.
 17. Jones, D.H., Powell, A., Bouganis, C.S. and Cheung, P.Y., GPU versus FPGA for high productivity computing. International Conference on Field Programmable Logic and Applications (pp. 119-124). IEEE. 2010, August.
 18. Nurvitadhi, E., Venkatesh, G., Sim, J., Marr, D., Huang, R., Ong Gee Hock, J., Liew, Y.T., Srivatsan, K., Moss, D., Subhaschandra, S. and Boudoukh, G., Can FPGAs beat GPUs in accelerating next-generation deep neural networks?. In Proceedings of the 2017 ACM/SIGDA Int. Symposium on Field-Programmable Gate Arrays (pp. 5-14). 2017, February.
 19. Nurvitadhi, E., Sim, J., Sheffield, D., Mishra, A., Krishnan, S. and Marr, D., Accelerating recurrent neural networks in analytics servers: Comparison of FPGA, CPU, GPU, and ASIC. 26th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL) (pp. 1-4). IEEE. 2016, August.
 20. CUDA C Programming Guide, <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html> (Accessed : 22.05.2020)
 21. Paralution Benchmark Suite. <https://developer.nvidia.com/paralution>, (Accessed: 22.05.2020)
 22. Danalis, A., Marin, G., McCurdy, C., Meredith, J.S., Roth, P.C., Spafford, K., Tipparaju, V. and Vetter, J.S., March. SHOC benchmark suite. 3rd Workshop on GPGPU (pp. 63-74). 2010.
 23. GeForce Titan X Specifications, <http://www.geforce.com/hardware/desktop-gpus/geforce-gtx-titan-x/specifications> (Accessed : 22.05.2020)
 24. Jetson TX2 Module Data Sheet. <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-tx2> (Accessed : 22.05.2020)
 25. EVGA GeForce GTX TITAN X(12G-P4-2990-KR) on Amazon.com, https://www.amazon.com/dp/B07MK6CWLR/ref=dp_cr_wdg_tit_rfb (Accessed : 22.05.2020)
 26. NVIDIA Jetson TX2 Development Kit on Amazon.com, <https://www.amazon.com/B06XPFH939> (Accessed : 22.05.2020)
 27. Matrix Market, (Accessed: 22.05.2020) <http://math.nist.gov/MatrixMarket/>
 28. The SuiteSparse Matrix Collection, <https://www.cise.ufl.edu/research/sparse/matrices/> (Accessed : 22.05.2020)
 29. Mittal, Sparsh. "A Survey on optimized implementation of deep learning models on the NVIDIA Jetson platform." Journal of Systems Architecture 97 (2019): 428-442.
 30. Cui, Han, and Naim Dahnoun. "Real-Time Stereo Vision Implementation on Nvidia Jetson TX2." In 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), pp. 1-5. IEEE, 2019

Password-Based SIMSec Protocol

Sedat AKLEYLEK^{1,*}, Engin KARACAN²¹ Ondokuz Mayıs University, Department of Computer Engineering Engineering, Engineering Faculty, Samsun, Turkeysedat.akleylek@bil.omu.edu.tr  <https://orcid.org/0000-0002-2306-6008>² Ondokuz Mayıs University, Computational Sciences Program, Graduate School of Sciences, Samsun, Turkey enginkaracan@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2306-6008>

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 17 June 2020
Received in revised form 25 August 2020
Accepted 30 August 2020
Available online 30 September 2020

Keywords:

Authentication, Key, Exchange,
SIMSec

The purpose of the SIMSec protocol is to provide the infrastructure to enable secured access between the SIM (Subscriber Identity Module) card which doesn't have an ephemeral key installed during production and the service provider. This infrastructure has a form based on agreements among the mobile network manufacturer, the user, the service provider and the card manufacturer. In order to secure transactions, authentication methods are used based on the fact that both parties can verify that they are the parties they claim to be. In this study, the key exchange and authentication models in the literature have been surveyed and the password-based authentication model is chosen. For the SIMSec protocol, the password-based authentication algorithm is integrated into the SIMSec protocol. Thanks to the proposed new structure, phase differences in the SIMSec protocol are shown. As a result, a new key exchange protocol is proposed for SIM cards.

Doi: 10.24012/dumf.753942

* Corresponding author

Sedat, Akleylek

✉ sedat.akleylek@bil.omu.edu.tr

Introduction

When the development process of communication technology is examined, it is seen that mobile phones cover a great place. It has been observed that mobile phone usage areas have increased in proportion to time so far. At the beginning mobile phones were served to users for voice calls and short message services. With the advances in communication technology, it has helped secure transactions such as mobile banking, mobile signature and mobile payment through the developing system. Thanks to these developments, cash out transactions, online shopping, credit card usage, online payments, e-commerce and the like can be secured safely via SIM on today's devices [1,2,3]. The secure provision of these services depends on the security of communications between the service providers and the SIM. SIM technology has been developing every year. SIM memory sizes update itself with advancing technology. These SIMs are installed by card manufacturers with ephemeral key protocols to ensure secured access between service providers and the SIM. In this study, transaction and memory costs are taken into consideration with a similar mentality in SIMSec protocol.

Key exchange can be defined as a protocol for two mutual parties to negotiate a secret key. The authentication method can be defined again as a protocol that are established by verifying that the two parties are the parties they are claiming each other to be. Key exchange and authentication methods for the secured access of the parties take an important place in the literature.

Related Works:

Today, SIM Cards (64kb 128kb 356kb 512kb) with different capacities are produced by card manufacturers. Secret keys are loaded on these cards during production in order to provide end-to-end secure communication over the produced cards. With the developing technology, communication security can be attacked. The attacker can cause problems by attacking this communication channel, such as changing data, listening and breaking data [1,2]. End-to-end communication has been made safer with the suggestion presented in this paper. A new key exchange protocol is proposed to the SIM cards with the presented method, where the card has

been produced and the secret key has not been loaded.

Various different models have been investigated to provide for secure communication of SIM technology. In some of these models, secret keys were assigned during production process [3-8]. However in [3], while secret keys weren't assigned during production process, it was proposed that keys that they developed assign exchange protocol stack to SIM technology for providing secure communication.

This study will be categorized into four sections. In the first section, the literature review and the content of the study are described. Section 2 based on the latest years usage of smartphones and smart devices that work with SIM, the infrastructures and the mathematical structures of the key exchange and authentication models in the literature are examined for the security of SIM technology. It is mentioned the differences between analyzed models. In Section 3 to ensure SIM security password-based SIMSEC protocol is proposed and the infrastructure of the method is shown mathematically. In the last section, the results obtained in the study and the studies that are aimed to be done in the future are given and a hybrid model is presented using the password-based key exchange model and SIMSec protocol together. It is stated that reliable models will be studied on providing the infrastructure enabling secured access between SIM cards that are not loaded with an ephemeral key during the production and service provider.

Key Exchange and Authentication Models

This section summarizes the working principles and mathematical backgrounds of password-based password-protected models from key exchange and authentication models in a study [9,10]. The notations and parameters used in all models discussed throughout the study are given in Table 1.

Table 1. Notations

Parameters	Definitions
π	Password of client
p	Large prime number of at least 1024 bits
q	$g / p-1$ prime number
G	Z_p subgroup
g	Generator of group G
r_A, r_B	Figures randomly selected in the session
Z_p	Set of integers with elements 0 to $p-1$
t_A, t_B	$t_A = g^{r_A}$ $t_B = g^{r_B}$
x_A, x_B	Client and server's private long passwords
Z_{AB}	Shared information (secret)
K_{AB}	Derived session key
$H_i(.)$	Unicast sum functions. $H_1 H_2 H_3, \dots$

Diffie-Hellman encrypted key exchange (EKE)

Encrypted key exchange In the Diffie-Hellman-EKE model is that a shared key is encrypted with a public key by using the password and is sent from client to server so that the client and server can communicate securely [11]. Only the party who knows the password can complete the protocol. The flow of this protocol is given in Figure 1 [11,12].

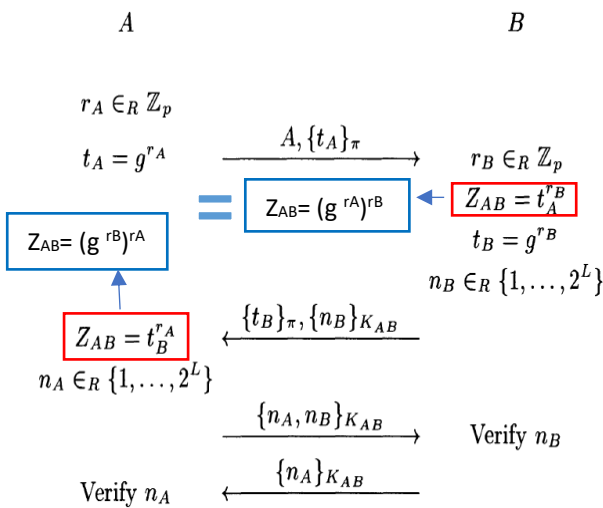


Fig. 1. Diffie-Hellman-EKE

This protocol was developed against “partition” attacks. According to this idea, the attacker who guesses the password can check whether the values t_A and t_B are valid. This set of protocols is based on the difficulty of finding the parameters selected by the attacker [12].

Password-based protocol (PAK)

The biggest problem in the password-based protocol (PAK) model is to estimate the π value of the client [12,13]. If the attacker knows the value π and has an idea of how the algorithm will work, the attacker can find all t_A, t_B values. An attacker could damage the communication information between the parties. Therefore, Bellare has customized the key generation function to make it difficult to find the session key. However, the symmetric encryption algorithm used in the protocol must provide randomness characteristics. Boyko obtained the “P” value by using relatively prime values [14] between r and q in the protocol set called PAK. With the help of these values, the switch in group G was produced. The proposed key exchange protocol is given in Figure 2 [15].

Since the PAK protocol uses the summary function and the “r” value in calculating P, the cost is higher than Diffie-Hellman. Another difference between the two protocols is the customization of the key generation function. So, the authentication mechanism was added.

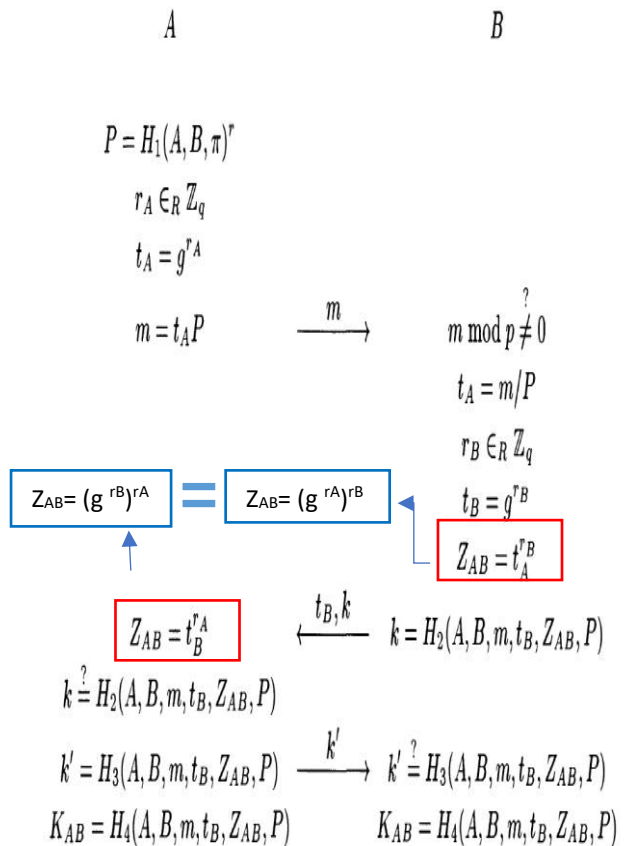


Fig. 2. Password-based Protocol (PAK)

Password protected key exchange (PPK)

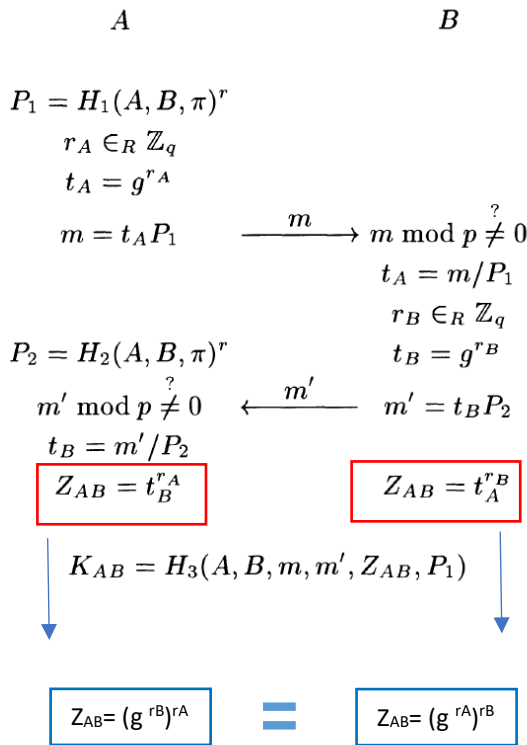


Fig. 3. Password protected key exchange protocol (PPK)

In the password protected key exchange (PPK) model, it is harder for an attacker to obtain the “ π ” value. The client calculates P_1 and P_2 using the values “ π ” and “ r ” [14]. This brings an extra calculation cost for the client. The PPK model is shown in Figure 3 [14, 16].

Password-based protocol-R (PAK-R)

The R-password-based protocol (PAK-R) refers to the PAK model [16,17]. The main difference with PAK is that the calculation costs of the client is transferred to the server. In the PAK-R model, many operations are performed on the server. In this way, the cost balance between the client and the server is achieved. For an attacker it is difficult to estimate the client or the server. Therefore, it becomes efficient to use even in devices with low computational power. Another difference is; The “ t_A ” value calculated on the server-side is customized. The PAK-R model is shown in Figure 4 [16, 17].

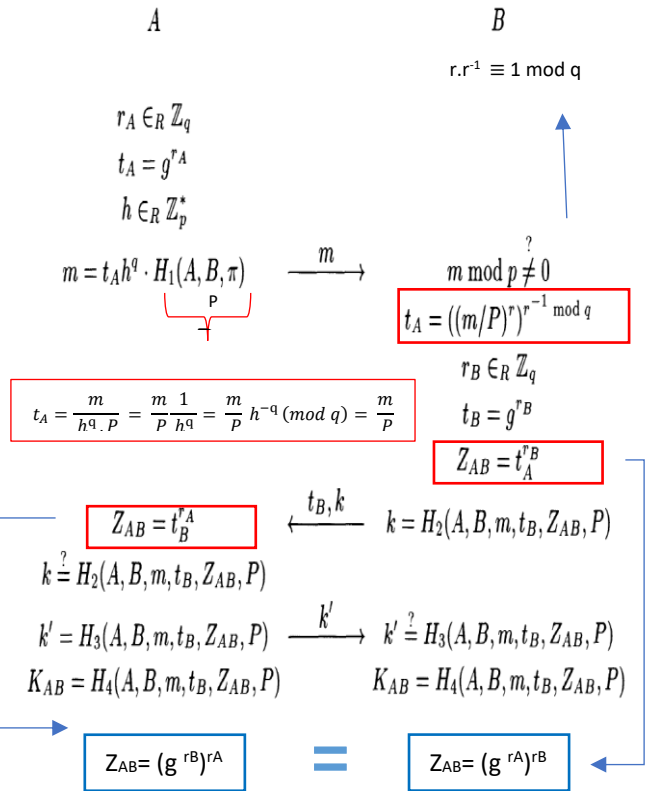


Fig. 4. Password-based protocol-R protocol (PAK-R)

Password-based protocol-Y (PAK-Y)

The PAK-Y model, called the Y-password-based key exchange protocol, refers to the PAK model as the PAK-R model [18]. The problem in this model as well is that the attacker finds the π value that the client has. As with the PAK model, an attacker can find all t_A , t_B values if he has any idea about the π parameter and the algorithm. In order to avoid this situation, it is made difficult to find π value in PAK-Y model. The “ v ” function is defined to provide this difficulty. “ V ” is defined by the client with the value “ v ”. The hash value of the defined expression is also computed. In this way, it is made difficult to reach “ π ” value for the attacker. Schnorr signature was added in the authentication section and the protocol set was terminated. The PAK-Y model is shown in Figure 5 [18,19].

In this protocol, the t_A value for computing the information shared by the server; As with other models, no additional calculation has been made on the server side. The value is obtained by processing in the “ m ” message from the client.

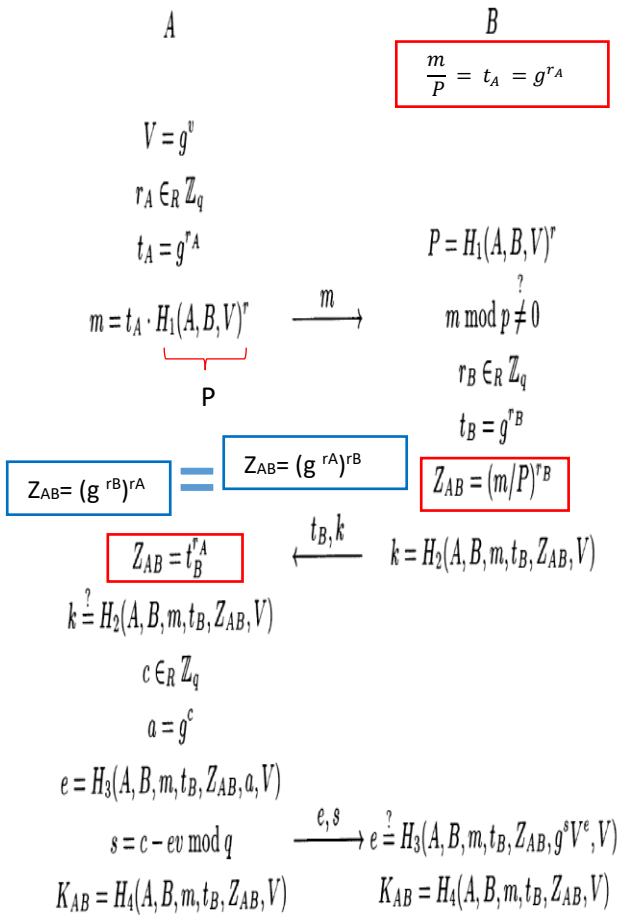


Fig. 5. Password-based protocol-Y protocol (PAK-Y)

Secure password exponential key exchange (SPEKE)

In another model, the security encrypted exponential key exchange model (SPEKE), and the security dimension of the transactions are increased by using “P” instead of g in Diffie-Hellman EKE [19]. P is defined as π^2 . In the PAK protocol, the calculation cost and processing power of P’ (π^2) is lower than the calculation cost of the function $H_1(A, B, \pi)^r$. Given the client's computing power, calculating $P = \pi^2$ is inappreciable enough for the client to ignore.

The calculation costs in Diffie-Hellman depends on the size of r_A and r_B exponents. Parameter selections are made according to security levels. The difference of SPEKE and PAK is that it is easier calculating P with SPEKE since the summary value H and the temporary key (r_A and r_B) values are not processed. Models in other studies examined that the temporary key values “ r_A, r_B ” were randomly selected from the set of

integers in the mode p and q bases. As for this model, for each session, any value between 1 and 2^L is chosen instead of randomly chosen temporary key values of r_A, r_B . SPEKE protocol is given in Figure 6 and there is no security proof for this protocol [19,20].

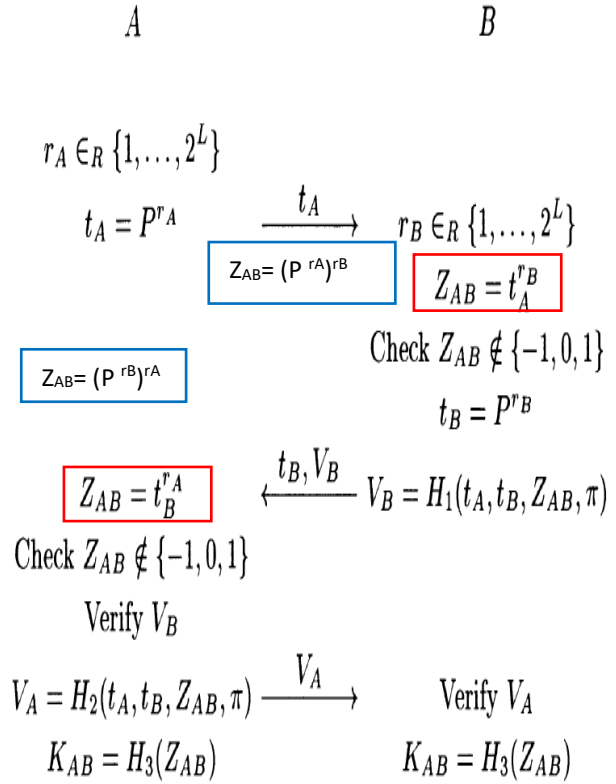


Fig. 6. Secure password exponential key exchange protocol (SPEKE)

B-Secure password exponential key exchange (B-SPEKE)

Security password exponential key exchange-B (B-SPEKE) is an improvement of the SPEKE model [21]. This model uses two password messages. The first one is the Z_{AB} value, the other one is $\overline{Z_{AB}}$ value. The Z_{AB} value is sent to the other party by taking the summary function against the risk of attack by the attacker. It is aimed to make the model more secure by using $\overline{Z_{AB}}$ value. Verification is performed with two ($Z_{AB}, \overline{Z_{AB}}$) different shared information values.

The protocol set is terminated with session keys generated after passing these validators. Unlike PAK models, in the B-SPEKE protocol given in

Figure 7, randomly selected transient key values for each session are selected from any value between 1 and 2^L values as in SPEKE [21,22].

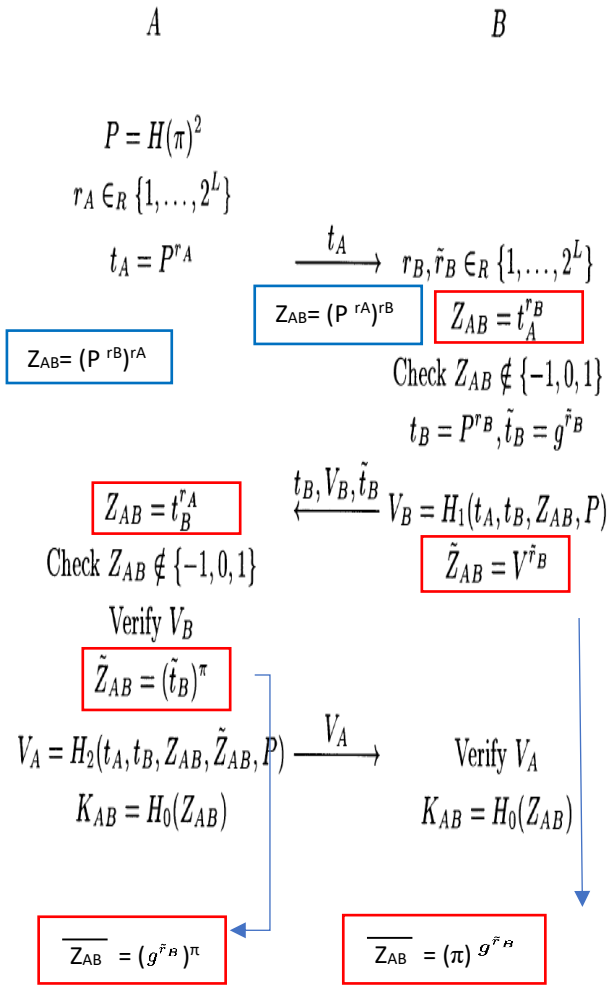


Fig. 7. B-Secure password exponential key exchange (B- SPEKE) protocol

Secure remote password (SRP)

The Security remote password (SRP) model is based on the importance of the “u” value [23]. The purpose of selecting “u” is to ensure that the client knows π . The first message is defined in the protocol when the client knows the “V” value. It is made difficult by the attacker to estimate the value of “u”, by randomly assigning “u” value by the server in each session. In this way, communication becomes secure. The Communication doesn’t start immediately after you verify the session key. The second authentication is done by taking the hash value and the protocol terminates when it is verified that the other party is the person claimed. Temporary key values are selected in “mod q”

integers and t_A values are sent directly by the client to the server through the transitions. Shared information and session key functions have been customized by adding additional parameters to prevent the attacker from making the communication unsafe. The SRP protocol is given in Figure 8 [23].

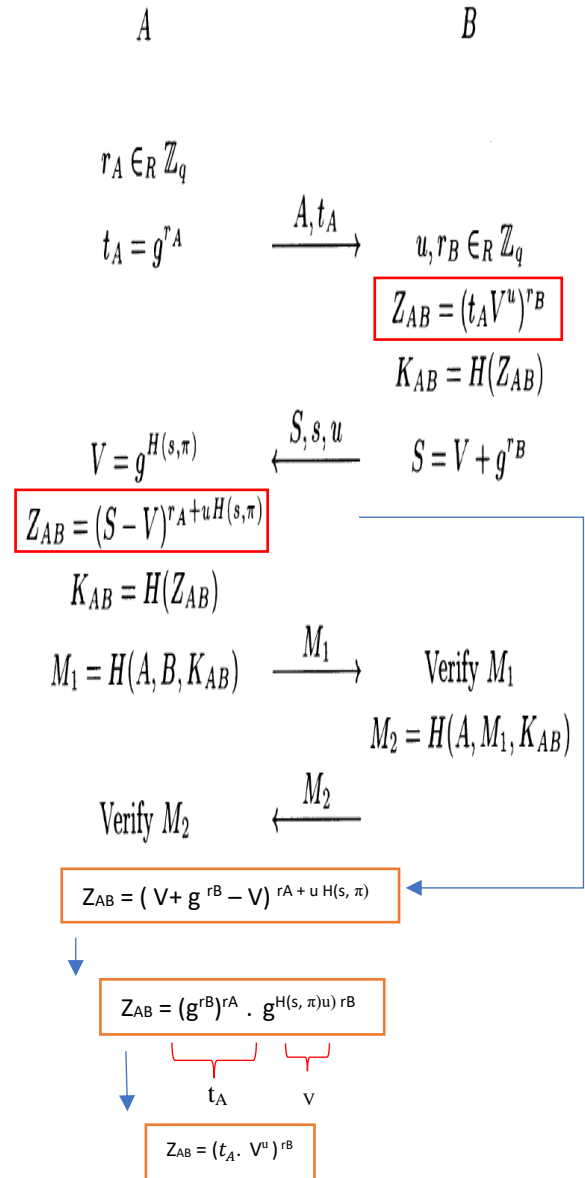


Fig. 8. Secure remote password protocol

Authentication via memorable password (AMP)

Calculating of shared (secret) information values differ in authentication via memorable password model [24]. The Z_{AB} value is calculated by using “e” which is the summary of t_A and T values. Here, as in SRP, after the session key is

validated, the communication does not start immediately and the second authentication is performed by taking the summary value. The protocol terminates when it is confirmed that the other party is claimed person. The generated AMP protocol is given in Figure 9. There is no security proof for SRP and AMP protocols [24].

Fig. 9. Authentication via memorable password protocol.

It is observed that parameter values differed in these models. Selected parameter values are selected from different sets. In this way, newly produced functions are introduced. Table 2

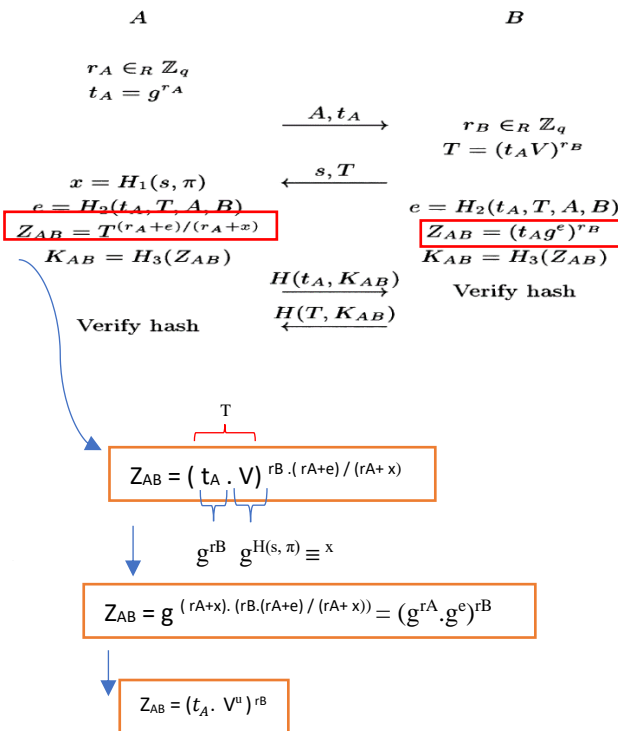
Table 2. Client and server cost and the number of phases

Models	Client		Server		Number of messages (transmission)
	Number of Hash functions	Number of exponentiations	Number of Hash functions	Number of exponentiations	
EKE	0	2	0	2	4
PAK	4	2	3	2	3
PPK	3	2	1	2	2
PAK-R	4	3	3	3	3
PAK-Y	4	4	4	2	3
SPEKE	2	2	2	2	3
B-SPEKE	3	3	2	4	3
SRP	1	3	1	2	4
AMP	4	2	3	2	4
This paper	4	2	3	2	3

provides information about the transmission and usage of the shared information that constitutes these models and the password of the client.

Table 3. Differences and usage of parameters

Models / Notations	π	t_A	$t_A t_B$	$Z_{AB} \overline{Z_{AB}}$
EKE	π	π	-----	$Z_{AB} = (g^{r_B})^{r_A}$
PAK	$P = H_1(A, B, \pi)^r$	$P = H_1(A, B, \pi)^r$	$P_2 = H_2(A, B, \pi)^r$	$Z_{AB} = (g^{r_B})^{r_A}$
PPK	$P_2 = H_2(A, B, \pi)^r$ $P_1 = H_1(A, B, \pi)^r$	$P_1 = H_1(A, B, \pi)^r$	-----	$Z_{AB} = (g^{r_B})^{r_A}$
PAK-R	$m = t_A \cdot h^q \cdot H_1(A, B, \pi)$	$h^q \cdot H_1(A, B, \pi)$	-----	$Z_{AB} = (g^{r_B})^{r_A}$
PAK-Y	$m = t_A \cdot H_1(A, B, V)^r$	$H_1(A, B, V)^r$	-----	$Z_{AB} = (g^{r_B})^{r_A}$
SPEKE	$P = \pi^2$	-----	-----	$Z_{AB} = (P^{r_B})^{r_A}$
B-SPEKE	$P = H(\pi)^2$	-----	-----	$\overline{Z_{AB}} = (g^\pi)^{r_B}$ $Z_{AB} = (P^{r_A})^{r_B}$
SRP	$V = g^{H(s, \pi)}$	-----	$S = V + g^{r_B}$	$Z_{AB} = (t_A \cdot V^{r_A})^{r_B}$
AMP	$V = g^{H(s, \pi)}$	-----	-----	$Z_{AB} = (t_A \cdot g^e)^{r_B}$
This PAPER	V	t_{SS}	-----	Z_{SS->SK}
	$P = H_1(ID_{SIM}, V)$	$P = H_1(ID_{SIM}, V)$		$Z_{SS->SK} = t_{SK}^a$



The transmission of these parameters varies in the models. Some models have transmission confidentiality, while others have been ignored.

Transmission confidentiality has been strengthened by these operations during transmission. Another advantage is the difficulty of computing the password-accepted parameters for models by the attacker.

With some models the parameters that make up these protocols are transmitted to the opposite side without any parameters being processed. And with other models, they are processed with other parameters.

The hash functions and exponential expressions used in these models are of great importance. The calculation costs of the client and server parts of these models are calculated according to the number of uses and the upper dimensions of the different summary functions. The scarcity of these transactions decreases the cost account. These cost accounts are observed to differ between the client and server, and these differences were found to be distinctive by the attacker. It is understood that a balanced distribution of the cost account by the client and server is a better solution for protocol sets. The phases of these values and the number of passing is presented in Table 3.

Authorized Key Exchange for SIMSEC Protocol

In this section, a protocol is proposed to enable secure communication between the service provider and the SIM which did not have a secret key installed during production. Password-based authentication algorithm offers an integrated approach to the SIMSec protocol. Secure communication between the service provider and the SIM must be extremely safe. SIM mobile service provider, IMSI (international mobile subscriber identity) international identification number, ICCID (integrated circuit card ID) card number, LAI (local area identity) area code, K_i (authentication key) authentication key, SMSC (short message service center) the short message service number and the SPN (service providers number) store data about the service provide [25]. Figure 10 illustrates how these operations are performed.

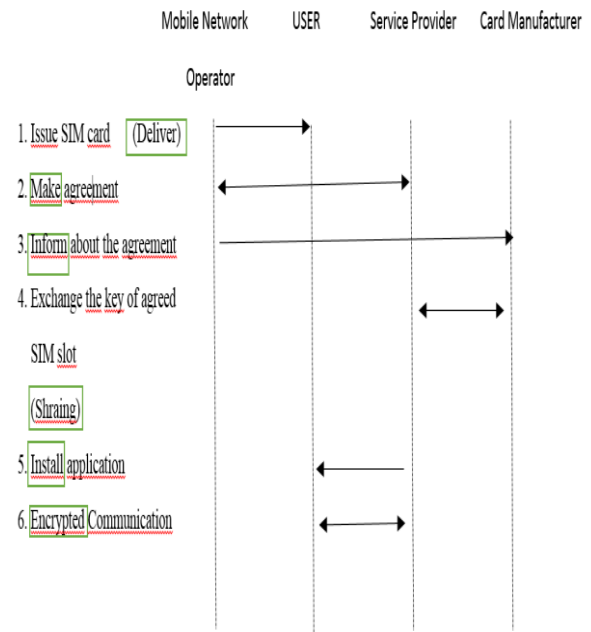


Fig. 10. Secure communication between service provider and SIM

The transactions among mobile network operator, user, service provider and card manufacturer are expressed as follows.

In the secure communication between the service provider and the SIM, the SIM is first provided to the user by the MNO. For the service provider to use the SIM, an agreement is made between the service provider and MNO. This agreement is notified to the card maker. In addition to this, the SIM, which has an agreement between the card and the service provider makes a key exchange. (the encryption key is transmitted to the service provider). By downloading the application from step 5 in Figure 10, secure encrypted communication is provided between the service provider and the SIM Card. The proposed protocol is summarized step by step in Figure 11.

The service provider calculates the P value by generating a random variable called V, which is 10 characters long, as shown in the first step in Figure 11. In the protocol known only by the service provider, the value of “a” randomly generated by the service provider is used as the upper value of the exponentiation process. Length is 384-bit, adhering to the standard. After creating a value, g^a is calculated and t_{ss} value is obtained. The P value created with this value is processed and sent to the SIM card. The SIM card calculates the t_{ss} value after checking

whether the incoming value is empty. The value b is then set to 384-bit, the length of which is bound to the standard. The t_{sk} value is then calculated. By using the t_{ss} value sent from the other party, the shared information $Z_{SS \rightarrow SK}$ value is obtained.

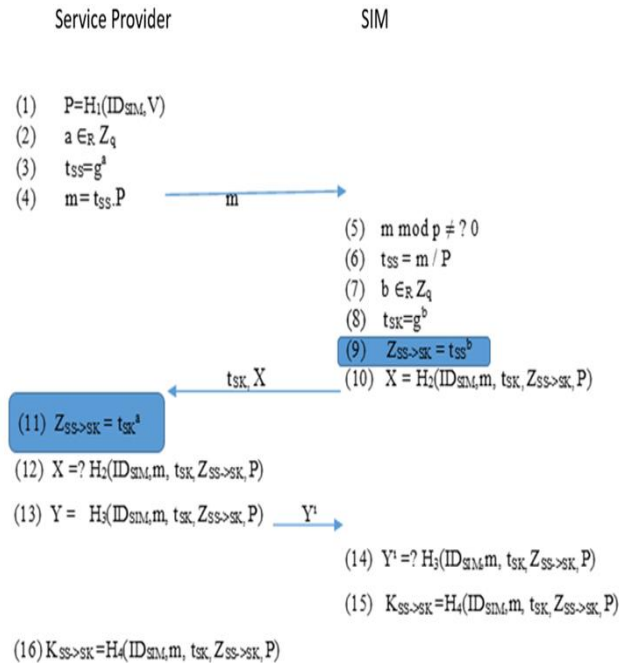


Fig.11. Password-based Key Exchange for SIMSEC Protocol

The SIM card calculates the X value defined in step 10 in Figure 13 and sends it to the service provider along with the t_{sk} value. The service provider obtains the shared information $Z_{SS \rightarrow SK}$ value by means of the sent t_{sk} value. It then calculates the value X' in step 12 given in Figure 13, which is the same as the X value. If the two results are equal (only the service provider and the SIM card know the V value), the service provider verifies the identity of the SIM card. Otherwise, the protocol is terminated.

The service provider also calculates the Y value defined in step 13 of Figure 13 and sends it to the SIM card. The SIM card calculates the Y' value in step 14 of Figure 13, which is the same as the Y value. The only difference found when calculating the Y' value is that the hash function $(g^b)^a$ is replaced with $(g^a)^b$ instead. Since these two values are the same, the results of the hash function will be the same. The SIM card and service providers agree on $C_{SR \rightarrow SK}$ and the protocol is terminated.

The biggest problem in this approach; It is a problem of estimating the V value owned by the service provider. If the attacker knows the value

of V and has an idea of how the algorithm works, he can find all t_{ss} , t_{sk} values. An attacker could damage the communication information between the parties. Therefore, V must be selected randomly.

The security analysis of the SIMSEC protocol is examined in three different attacker types;

- An attacker in the SMS channel who knows the public values g and p can execute an attack through the key exchange protocol.
- Although the MNO is known as a trustworthy institution there is an employee risk. Individual employees could access ID_{SIM} and perform an attack on the SMS channel. Therefore MNO employees can't be trusted on an individual basis.
- Another type of attacker is that; another service provider may have previously entered into an agreement with MNO and executed the key generation protocol with the SIM card. In this case, this service provider knows the ID_{SIM} data and therefore can attack the key exchange protocol by knowing the ID_{SIM} value and the public g and p values.

Diffie-Hellman algorithm is used on SIMSec basis. It is not possible to calculate the numbers $(g^b)^a \pmod n$ and $(g^a)^b \pmod n$ in this algorithm by those who do not know the numbers a or b . To generate the same key, the attacker must be able to obtain one of these two numbers. In the SIMSec key generation protocol, key confidentiality between the SIM card and the service provider is ensured in this way.

Conclusion and Future Works

Models are examined for secure communication between SIM Card and service provider. The biggest limitation of SIMs is their low capacity and processing power. In this study, these limitations are ignored. A protocol has been proposed to enable secure communication between the service provider and the SIM which doesn't have a secret key installed during production. This set of protocols has been integrated into the SIMSec protocol and introduced a new approach. As a future study, a reliable post-quantum protocol will be studied.

This method verifies each other's identities, protected data integrity with a new approach,

and increased security against Man-in-the-middle attack and replay attacks. With this proposed perspective, attacks that can be carried out over the values that are open to everyone are made more secure thanks to the directed algorithm. Secure communications will continue as attacks that may occur through the key that any employee at a different service provider knows will not go through verification from the other party.

For post-quantum, the Shor algorithm [11] makes traditional public-key cryptography systems insecure, based on problems that are computationally hard for today's technology. This development has made the communication of computers after quantum insecure and necessitated the creation of reliable structures that can replace the systems. Based on this requirement, a new key exchange protocol will be proposed in order to provide the infrastructure enabling secure communication between SIM cards that have not been loaded with secret key during production and service provider.

References

- [1] He, S., & Paar, I. C. (2007, July). SIM card security. In *Seminar Work, Ruhr-University of Bochum*
- [2] Kapoor, V., Abraham, V. S., & Singh, R. (2008). Elliptic curve cryptography. *Ubiquity, 2008*(May), 1-8.
- [3] Ok, K., Coskun, V., Yarman, S. B., Cevikbas, C., & Ozdenizci, B. (2016). SIMSec: A key exchange protocol between SIM card and service provider. *Wireless Personal Communications, 89*(4), 1371-1390.
- [4] Rongyu, H., Guolei, Z., Chaowen, C., Hui, X., Xi, Q., & Zheng, Q. (2009). A PK-SIM card based end-to-end security framework for SMS. *Computer Standards & Interfaces, 31*(4), 629-641.
- [5] Li, Y., Chen, M., & Nie, J. (2011, September). Mobile commerce security model construction based on sms. In *2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* (pp. 1-3). IEEE.
- [6] Badra, M., & Urien, P. (2004, March). Toward SSL integration in SIM smartcards. In *2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE Cat. No. 04TH8733)* (Vol. 2, pp. 889-893). IEEE.
- [7] Markantonakis, K., & Mayes, K. (2005). A Secure Channel protocol for multi-application smart cards based on public key cryptography. In *Communications and Multimedia Security* (pp. 79-95). Springer, Boston, MA.
- [8] Handschuh, H., & Paillier, P. (1998, September). Smart card crypto-coprocessors for public-key cryptography. In *International Conference on Smart Card Research and Advanced Applications* (pp. 372-379). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] Schnorr, C. P. (1989, August). Efficient identification and signatures for smart cards. In *Conference on the Theory and Application of Cryptology* (pp. 239-252). Springer, New York, NY.
- [10] Boyd, C., Mathuria, A., & Stebila, D. (2003). *Protocols for authentication and key establishment* (Vol. 1). Heidelberg: Springer.
- [11] Shor, P. W. (1994, November). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. In *Proceedings 35th annual symposium on foundations of computer science* (pp. 124-134). Ieee.
- [12] Bellare, S. M., & Merritt, M. (1992). Encrypted key exchange: Password-based protocols secure against dictionary attacks..
- [13] Bellare, M., Pointcheval, D., & Rogaway, P. (2000, May). Authenticated key exchange secure against dictionary attacks. In *International conference on the theory and applications of cryptographic techniques* (pp. 139-155). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [14] Boyko, V., MacKenzie, P., & Patel, S. (2000, May). Provably secure password-authenticated key exchange using Diffie-Hellman. In *International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques* (pp. 156-171). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [15] MacKenzie, P. (2002). The PAK suite: Protocols for password-authenticated key exchange. In *IEEE P1363. 2*.
- [16] Mackenzie, P. (2001, April). More efficient password-authenticated key exchange. In *Cryptographers' Track at the RSA Conference* (pp. 361-377). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Lenstra, A. K., & Verheul, E. R. (2000, August). The XTR public key system. In *Annual International Cryptology Conference* (pp. 1-19). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [18] Jablon, D. P. (1996). Strong password-only authenticated key exchange. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 26*(5), 5-26.
- [19] MacKenzie, P. (2001). On the Security of the SPEKE Password-Authenticated Key Exchange Protocol. *IACR Cryptol. ePrint Arch., 2001*, 57.
- [20] IEEE P1363 Working Group. (2003). Standard specifications for password-based public-key cryptographic techniques. *IEEE P1363. 2/D11*.
- [21] Perlman, R., & Kaufman, C. (2001, August). PDM: A new strong password-based protocol. In *Proceedings of the 10th USENIX Security Symposium* (pp. 313-321).
- [22] Jablon, D. P. (1997, June). Extended password key exchange protocols immune to dictionary attack. In *Proceedings of IEEE 6th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises* (pp. 248-255). IEEE.
- [23] Wu, T. D. (1998, March). The Secure Remote Password Protocol. In *NDSS* (Vol. 98, pp. 97-111).
- [24] Kwon, T. (2000). Ultimate solution to authentication via memorable password. *Contribution to the IEEE P1363 Study Group*.
- [25] Lee, W. C. (1995). *Mobile cellular telecommunications: analog and digital systems*. McGraw-Hill Professional.

Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinde Sosyal Ağları Kullanım Düzeylerinin Farklı Parametrelere Bağlı Olarak Belirlenmesi

Determination of Social Network Usage Levels in Vocational School Students Based on Different Parameters

Aynur Sevinç^{1*}, Buket Kaya²

¹ Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, aynur.sevinc@dicle.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, E.O.S.B. Maden Meslek Yüksekokulu, Elazığ, bkaya@firat.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 1 Temmuz 2020

Düzeltilme: 15 Eylül 2020

Kabul: 19 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Sosyal ağ, meslek yüksekokulu, sosyal ağ kullanım alışkanlıkları, sosyal ağ bağımlılığı

ÖZET

Bu çalışmada meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal ağ kullanım durumları ve sosyal ağ bağımlılık düzeylerinin mevcut durumunun belirlenmesi ve bu bağımlılığın farklı demografik değişkenlerle ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın çalışma grubunu Dicle Üniversitesi Silvan Meslek Yüksekokulu'nun farklı üç bölümünün 1. ve 2. sınıf düzeyinde öğrenim görmekte olan 147 öğrenci oluşturmaktadır. Çalışma nicel araştırma yöntemlerinden olan tarama modeli kapsamında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde, demografik verilen toplandığı bir kişisel bilgi formu ve sosyal ağ bağımlılığı ölçeği veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Araştırmanın amacına uygun olarak belirlenen analiz teknikleriyle (frekans analizi, t-Testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA), korelasyon) analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, meslek yüksekokulu öğrencilerinin çoğunluğunun en az bir sosyal ağ hesabına sahip olduğu görülmüştür. En fazla bağımlılık Çocuk Gelişimi bölümü ile Elektrik ve Enerji bölümü öğrencilerinde tespit edilmiştir. Ayrıca meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal ağ bağımlılıklarının düşük düzeyde olduğu araştırmanın ulaşılan diğer sonuçları arasındadır.

Doi: 10.24012/dumf.760331

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 1 July 2020

Revised: 15 September 2020

Accepted: 19 September 2020

Keywords:

Social media, vocational high school, social media usage habits, social media addiction.

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the current status of social media use cases and social media addiction levels of vocational school students and to associate this addiction with different demographic variables. The study group of the research consists of 147 students studying at the 1st and 2nd grade levels of three different departments of Dicle University Silvan Vocational School. The study was carried out within the scope of the screening model, which is one of the quantitative research methods. In the research process, a personal information form that collected demographic and social media addiction scale were used as data collection tool. Analysis techniques (frequency analysis, t-test, one-way analysis of variance (ANOVA), correlation) were carried out with the analysis techniques determined in accordance with the purpose of the research and the results were interpreted. As a result of the analysis, it is seen that the majority of vocational school students have at least one social media account. The most addictions were determined in the Child Development department and the Electricity and Energy department students. In addition, it is among the other results of the research that vocational school students have low social media addiction.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Aynur SEVİNÇ

✉ aynur.sevinc@dicle.edu.tr

Giriş

İlk zamanlar savunma sanayisinde kullanılmak üzere ortaya çıkan internet zamanla birçok alanda kullanılmaya başlanmış ve günümüzde herkesin kullanabildiği bir teknoloji haline gelmiştir. İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte internet olgusunun bir uzantısı olarak sosyal medya ağları ortaya çıkmış ve bu platformların kullanımında hızlı bir gelişim meydana gelmiştir. Günümüz dünyasında medya sisteminde önemli bir yere sahip olan sosyal medyanın yakın gelecekte hızla büyümeye devam edeceği, çeşidinin artacağı ve tüm medya sistemlerini kapsayacağı düşünülmektedir.

Global sosyal medya ajansının (We Are Social) her yıl olduğu gibi 2020 yılında da sunduğu raporda yer alan verilere göre, internet kullanıcılarının dünya genelinde nüfusun yarısından fazlasını oluşturduğu belirtilmektedir (%59) [1]. Türkiye’de ise, 2020 yılı itibariyle ülke nüfusunun %74’ünü karşılayan 62 milyon aktif internet kullanan bireyler bulunmaktadır [2]. Dünya genelinde her iki bireyden birinin sosyal medya hesabının bulunduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte sosyal ağ sitelerinin her yıl kullanıcı sayısını artırması ve kullanımındaki yoğunluk sosyal medya bağımlılığını da gündeme taşımaktadır.

Yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen bağımlılığı Amerikan Psikiyatri Derneği (2013), zayıflatıcı sonuçlarına rağmen bir maddeye veya davranışa sürekli katılım gösterme hali olarak tanımlamaktadır. Sosyal medyada zaman geçirmenin günlük yaşantımızda bir yer edinmesi, sosyal medya kullanımında aşırıya gidilerek bağımlılık boyutuna gelme riski araştırmacılar için ilgi çekici bir çalışma alanı oluşturmuştur [3].

Alanyazında yer alan çalışmalar incelendiğinde, özellikle lise düzeyinde öğrenim görmekte olan ergen bireylerin ve üniversite öğrencilerinin internete ve sosyal medyaya bağımlılık geliştirmeye daha yatkın kullanıcılar olduğu anlaşılmaktadır. Bu noktada araştırmanın çalışma grubunun meslek yüksekokulu öğrencilerinden seçilmesi uygun görülmüştür. Söz konusu gerekçelerden hareketle, meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya bağımlılık düzeyleri

bazı demografik değişkenlere bağlı olarak bu çalışma ile incelenmektedir.

Araştırmanın Problemi

Günümüzde internet kullanımının yaygınlaşması ve kontrolsüz kullanımı birçok olumsuz sonuç doğurmuştur. Bu olumsuz sonuçlardan biri şüphesiz bir davranışta aşırıya kaçmak olarak tanımlanan bağımlılık durumudur. Web 2.0 teknolojilerinin geliştirilmesi ile kullanımı yaygınlaşan sosyal medya uygulamaları, bireyleri bağımlı hale getirebilmekte ve ileride telafisi zor olan psikolojik sorunlar ortaya çıkarabilmektedir [4]. Bağımlılık ölçeği geliştirilmesi üzerine çalışmaları bulunan ve günümüzde birçok araştırmacının çalışmalarında kullandığı ölçeği (YİBT-KF) alanyazına kazandıran Young, ilerleyen zamanlarda farklı demografik değişkenlerle bağımlılık düzeyinin ilişkilendirildiği çalışmaların yapılması yönünde tavsiyede bulunmuştur. Bu doğrultuda bu çalışmada, üniversite düzeyinde öğrenim görmekte olan meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya bağımlılık durumlarının farklı demografik değişkenlere bağlı olarak araştırılmasının önem taşıdığı kabul edilmektedir.

Araştırmanın Amacı

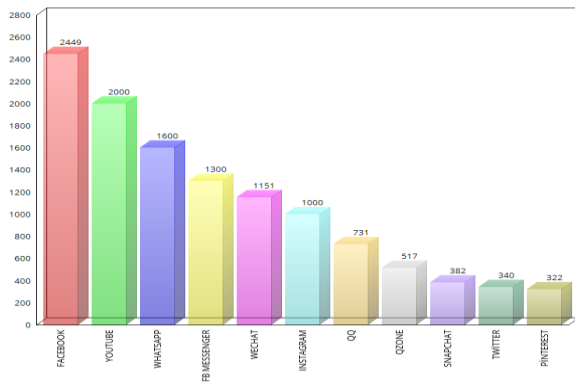
Bu çalışma, üniversite öğrencilerinin sosyal medya kullanımını ve sosyal medya bağımlılığının mevcut durumunu belirlemeye, bu sosyal ağ platformlarına bağımlılığı farklı demografik değişkenlerle ilişkilendirmeye odaklanmıştır. Bu temel amaç çerçevesinde aşağıda yer alan araştırma sorularına cevap aranmıştır:

1. Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya kullanım alışkanlıkları ve tercihleri ne şekildedir?
2. Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya bağımlılıkları bazı demografik değişkenlere göre anlamlı düzeyde farklılaşmakta mıdır?
3. Sosyal medya bağımlılığı ölçeğinin alt faktörleri arasında anlamlı bir ilişki var mıdır?

Kuramsal Çerçeve ve İlgili Araştırmalar

Sosyal Medya ve Sosyal Ağlar

Son yıllarda gün boyunca istediğimiz zamanda ulaşabildiğimiz çevrimiçi hizmetler, yaşam tarzımızın ayrılmaz unsurları haline gelmiştir. Bu çevrimiçi hizmetlerden biri olan sosyal ağ siteleri; fikirleri, bilgileri, resimleri, videoları oluşturmak veya paylaşmak için geliştirilmiş web tabanlı platformlar olarak tanımlanmaktadır. Bu siteler aynı zamanda en aktif kullanıcılar olan genç yetişkinlerin (18-29 yaş) % 90'ı tarafından kullanılmaktadır [5].



Şekil 1. 2020 Yılı Dünya Geneli Sosyal Medya Platformları Aktif Kullanıcı Sayıları (We Are Social, 2020) kaynağından bu araştırma kapsamında yazar tarafından uyarlanmıştır.

“We Are Social” ve “Hootsuite”ın birlikte oluşturduğu rapor, günümüzün güncel sosyal medya kullanım bilgilerini sunmaktadır. Bu istatistiklere göre günümüzde dünya nüfusunun %49’unu oluşturan 3.80 milyar aktif sosyal medya kullanıcısı bulunmaktadır. 2019 yılına göre sosyal medya kullanıcı sayısı 2020 yılında %9.2 oranında (321 milyon) artış göstermiştir. 2019 yılı sosyal medya istatistik sonuçlarına göre, dünya genelinde sosyal medya tekil kullanıcı sayısı 3.72 milyar iken 2020 yılına baktığımızda bu sayı 3.80 milyara ulaşmıştır. Ayrıca 2019 yılı istatistik verilerine göre, 2.4 milyar kullanıcı sayısı ile en fazla tercih edilen sosyal ağ siteleri arasında ilk sırada olan Facebook’un, 2020 yılı itibariyle de 2.44 milyar kullanıcı ile liderliği bırakmadığını söylemek mümkündür. En çok tercih edilen sosyal platformlardan olan YouTube ikinci sırada yer almaktadır. En çok kullanılan sosyal ağ platformları sıralamasında 1.600 kullanıcı ile

WhatsApp üçüncü sırada yer almaktadır. Sosyal medya uygulamaları arasında, Instagram ve Snapchat gibi son derece görsel sosyal medya platformları, gençler arasında giderek daha popüler hale gelmiştir [6, 7]. Instagram’ın özellikle ABD’li gençler tarafından en çok kullanılan sosyal medya uygulaması olduğu [8] ifade edilmektedir. Buna karşılık özellikle Instagram ile ilgili olarak, bağımlılık yapan sosyal medya kullanımının depresif belirtiler, yalnızlık, endişe, olumsuz ruh halleri, düşük benlik saygısı ve kişinin görünüşünden memnuniyetsizliği ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [7, 9, 10, 11, 12].

Sosyal Medya Bağımlılığı

Günümüzde teknoloji araçlarının ve iletişim hizmetlerinin yükselişi hayatımızı kolaylaştırır da bunun bir sonucu olarak internet ve sosyal medya bağımlılığı gibi davranışsal bağımlılıklar yaygınlaşmaktadır [13]. Her ne kadar modern iletişimin temel taşı olan sosyal medya platformları kullanıcılara birçok fayda getirirse de, görünüşte zararsız görünen alışılmış kullanım, davranışsal bağımlılığın bir işareti olabilir [14]. Longstreet ve Brooks (2017) çalışmalarında, günümüzde 210 milyondan fazla insanın internet ve sosyal medya bağımlılığından etkilendiğini ifade etmektedir [15]. Yapılan araştırma sonuçlarına bakıldığında bu ağlar arasında özellikle Instagram ve Facebook, gençlerin sağlığını, öncelikle de zihinsel sağlıklarını etkileyen en olumsuz araçlar olarak değerlendirilmiştir [16]. Sosyal medya kullanımında, kendi motivasyonunu sağlama gücü yüksek olan bireylerin sosyal ağ hesaplarını kullanımını kendi yaşamlarıyla uyumlu hale getirebileceği, motivasyonunu sağlama noktasında düşük olan bireylerin de sosyal medyanın obsesif kullanıcıları olma eğiliminde oldukları düşünülmektedir [17].

İlgili Araştırmalar

Aparicio-Martínez ve arkadaşları (2020), Güney İspanyol Üniversitesi öğrencilerinde sosyal ağlara bağımlılıktaki cinsiyet farklılıklarını araştırmışlardır. Bulgular, kadınlarda psikososyal faktörlerin daha fazla olduğunu ve erkeklerde ise biyolojik ve sosyal faktörlerin bir

kombinasyonunun bağımlılık düzeyindeki varlığını göstermiştir [16]. Liu ve Ma (2018) tarafından Çin’de s619 üniversite öğrencisi ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilen ölçek, klinik hem de klinik olmayan ortamlarda sosyal medya bağımlılığını değerlendirmek için kullanılabilir. Folaranmi Alabi (2013) çalışmasında, Nijerya’da eğitim alan 994 üniversite öğrencisinden topladığı veriler ile kullanımlar ve doyumlar medya bağımlılığı yönünde ölçme aracı geliştirmiştir. Ayrıca araştırmada Nijeryalı öğrencilerin bağımlılık düzeyinin yüksek olduğu tespit edilmiştir [18].

Materyal ve Metot

Araştırmanın Modeli

Bu çalışma tarama modelinde yürütülmüştür. Tarama modeli, geçmişte olan veya halen varlığını devam ettiren bir durumu olduğu biçimiyle betimlemeyi amaç edinen araştırma yaklaşımı olarak kabul edilmektedir [19]. Betimsel tarama modellerinden olan ilişkisel *tarama modeli*, genel olarak birden fazla değişkenin arasındaki etkileşimin varlığını ve miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu gerekçelerden hareketle bu çalışmada ilişkisel tarama modelinin kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, Dicle Üniversitesi Silvan Meslek Yüksekokulunun farklı üç bölümünün 1. ve 2. sınıf düzeyinde öğrenim görmekte olan ve çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden 147 öğrenci oluşturmaktadır.

Araştırma Sürecinde Kullanılan Veri Toplama Araçları

Araştırma kapsamında geliştirilen bir kişisel bilgi formu ve Tutgun-Ünal’ın (2015) doktora tez çalışması sürecinde geliştirdiği sosyal medya bağımlılığı ölçeği (SMBÖ) veri toplama aracı olarak katılımcılara uygulanmıştır. SMBÖ’nün ve alt boyutlarının Cronbach Alpha güvenilirlik katsayıları .75 üzerinde hesaplandığından ölçeğin güvenilir olduğu kabul edilmektedir. Ölçeğin ve alt boyutlarının Cronbach Alfa değerlerine Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. SMBÖ’nün ve alt boyutlarının güvenilirlik değerleri

Boyutlar/SMBÖ	Madde Sayısı	Cronbach Alpha Katsayısı
Meşguliyet Boyutu	12	.932
Duygu Durum Düzenleme	5	.892
Tekrarlama	5	.914
Çatışma Boyutu	19	.958
Sosyal Medya Bağımlılığı Ölçeği (SMBÖ)	41	.975

Verilerin Analizi

Araştırma sonucu elde edilen tüm veriler düzenli bir şekilde SPSS 21 programına aktarılmıştır. Çözümlemelerde $p=.05$ anlamlılık düzeyi temel alınarak frekans analizi, t-testi, varyans analizi ve korelasyon analizi gibi çeşitli teknikler ile analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

Bulgular ve Yorum

Elde edilen bulgular alt amaçlara göre sırasıyla sunulmuştur. Tablo 2’de katılımcılara ait özelliklere yer verilmiştir.

Tablo 2. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri

	Değişken	Sayı (N)	Yüzde (%)
Bölüm	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	28.6
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	17.7
	Çocuk Gelişimi Bölümü	79	53.7
	Toplam	147	100.0
Cinsiyet	Kadın	86	58.5
	Erkek	61	41.5
	Toplam	147	100.0
Öğrenim Görülen Sınıf	1.Sınıf	87	59.2
	2. Sınıf	60	40.8
	Toplam	147	100.0

Araştırmaya %28.6’sı (n=42) Elektrik ve Enerji Bölümü, %17.7’si (n=26) Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, %53.7’si (n=79) Çocuk Gelişimi Bölümü öğrencilerinden olmak üzere 147 üniversite öğrencisi katılmıştır. Bu

öğrencilerin %58.5'i kadın (n=86), %41.5'i (n=61) erkek öğrencilerden ve ayrıca %59.2 (n=87) 1. sınıf, %40.8'i (n=60) 2. sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Araştırmaya katılanların çoğunlukla Çocuk Gelişimi bölümü öğrencileri ve kadın öğrenciler olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 3. Öğrencilerin sosyal medya kullanım alışkanlıkları

		Sayı (N)	Yüzde
Sosyal Medya Kullanma Durumu	Evet	145	98.6
	Hayır	2	1.4
Tercih Edilen Sosyal Medya Araçları	Facebook	5	3.4
	Instagram	7	4.8
	WhatsApp	18	12.2
	Instagram+WhatsApp	48	32.7
	WhatsApp+Youtube	18	12.2
	Hepsi	49	33.3
	Kullanmıyorum	2	1.4
Sosyal Medya Paylaşım Türleri	Fotoğraf	50	34.0
	Haber	22	15.0
	Video	11	7.5
	Gittiğiniz yerler	33	22.4
	Hepsi	29	19.7
	Kullanmıyorum	2	1.4
Sosyal Medya Kullanma Geçmişi	1 yıldan az	11	7.5
	1-3 yıl arası	48	32.7
	3-6 yıl arası	37	25.2
	7+ yıl	49	33.3
	Kullanmıyorum	2	1.4
Günlük Sosyal Medya Kullanım Süresi	0-1 saat	35	23.8
	1-3 saat	63	42.9
	3-6 saat	35	23.8
	6+ saat	12	8.2
	Kullanmıyorum	2	1.4

Tablo 3'te yer alan veriler incelendiğinde, araştırmaya katılan öğrencilerin %98.6'sı (n=145) sosyal medya araçlarını kullandığını, %1.4'ü (n=2) ise herhangi bir sosyal medya aracını kullanmadığını belirtmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, araştırmaya katılan üniversite öğrencilerinin büyük çoğunluğunun herhangi bir sosyal medya hesabı olmakla beraber en az iki sosyal medya platformuna üye oldukları görülmektedir (%78.2). Katılımcıların sosyal medya hesaplarından neleri paylaştıklarına

bakıldığında ise; çoğunlukla fotoğraf paylaşımı yaptıkları (%34), ikinci olarak gittikleri yerleri (%33) ve haberleri (%22), en az oranda ise video paylaşımı yaptıkları belirlenmiştir.

Öğrencilerin sosyal medya kullanım geçmişine bakıldığında; en fazla oranda %33.3'ünün (n=49) 7 yıl ve üzerinde sosyal medya kullanım geçmişine sahip olduğu görülmektedir. Katılımcıların %7.5'i (n=11) ise 1 yıldan az süredir sosyal medya hesabı kullandıklarını belirtmişlerdir. Öğrencilerin günlük sosyal medya kullanım sürelerine bakıldığında, yoğun olarak %42.9'unun (n=63) 1-3 saat arası sosyal medya hesabını kullandığı görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 4. Sosyal medya bağımlılığının öğrenim görülen bölüm değişkenine göre tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

		N	\bar{x}	Ss	F	P
Meşguliyet	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	31.50	10.52		
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	29.23	8.32	0.34	0.71
	Çocuk Gelişimi Bölümü	77	31.02	12.68		
	Toplam	145	30.83	11.32		
Duygu Durum Düzenleme	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	14.77	3.86		
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	10.53	4.33	3.12	0.03*
	Çocuk Gelişimi Bölümü	77	14.35	5.62		
	Toplam	145	13.22	4.98		
Tekrarlama	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	10.73	5.00		
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	9.53	3.87	1.43	0.24
	Çocuk Gelişimi Bölümü	77	11.44	5.34		
	Toplam	145	10.89	5.02		

Çatışma	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	41.12	15.06		
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	31.00	11.00	3.08	0.03*
	Çocuk Gelişimi Bölümü	77	43.42	19.28		
	Toplam	145	38.50	17.00		
SMBÖ	Elektrik ve Enerji Bölümü	42	91.90	27.49		
	Bilgisayar Teknolojileri Bölümü	26	82.30	21.72	1.06	0.34
	Çocuk Gelişimi Bölümü	77	93.28	39.07		
	Toplam	145	90.72	33.07		

*p<0.05

Elde edilen ortalama puanlara bakıldığında, öğrenim görülen bölüm değişkenine göre meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya bağımlılık düzeylerinde ölçülen *Çatışma* ve *Duygu-Durum Düzenleme* alt boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmüştür (F=1.06; p<0.05). Bu sonuçlara göre;

Duygu-Durum alt boyutunda, Elektrik ve Enerji bölümü ile Çocuk Gelişimi bölümü öğrencilerinin diğer bölüm öğrencilerine göre sosyal medya bağımlılık düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (F=3.12; p<0.05). Yani bu öğrencilerin sosyal medyada aktif oldukları zamanlarda duygu durumlarında değişimler meydana gelmekte, kullanıcı birey kişisel sorunlarını unutmak amacıyla sosyal medyada vakit geçirebilmektedir.

Çatışma alt boyutunda, Elektrik ve Enerji bölümü ile Çocuk Gelişimi bölümü öğrencilerinin diğer bölüm öğrencilerine göre sosyal medya bağımlılık düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (F=3.08; p<0.05). Bu bölüm öğrencilerinin diğer bölüm öğrencilerine göre sosyal medya ile daha fazla çatışma halinde olduğu yani sosyal medya kullanımının hayatlarında sorunlar oluşturduğu söylenebilir (Tablo 4).

Tablo 5. Sosyal medya bağımlılığının cinsiyet değişkenine göre bağımsız örneklem t-testi sonuçları

	Cinsiyet	N	\bar{x}	Ss	t	P
Meşguliyet	Kadın	84	31.20	12.30	0.45	0.65
	Erkek	61	30.33	9.92		
Duygu Durum Düzenleme	Kadın	84	12.20	5.38	-0.50	0.96
	Erkek	61	12.25	4.43		
Tekrarlama	Kadın	84	11.10	5.09	0.59	0.55
	Erkek	61	10.60	4.95		
Çatışma	Kadın	84	39.90	18.86	1.14	0.25
	Erkek	61	36.60	13.99		
SMBÖ	Kadın	84	92.60	37.62	0.74	0.45
	Erkek	61	88.93	26.15		

*p<0.05

Araştırmaya katılan öğrencilerin cinsiyet değişkenine göre SMBÖ ve alt boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Tablo 6. Öğrenim görülen sınıf değişkenine göre bağımsız örneklem t-testi sonuçları

	Öğrenim Görülen Sınıf	N	\bar{x}	Ss	t	P
Meşguliyet	1.Sınıf	85	30.78	10.41	-	0.94
	2. Sınıf	60	30.91	12.61	0.67	
Duygu Durum Düzenleme	1.Sınıf	85	12.54	4.82	0.95	0.34
	2. Sınıf	60	11.73	5.22		
Tekrarlama	1.Sınıf	85	10.47	4.36	-	0.22
	2. Sınıf	60	11.50	5.82	1.21	
Çatışma	1.Sınıf	85	33.75	14.66	-	0.03*
	2. Sınıf	60	41.05	19.76	1.48	
SMBÖ	1.Sınıf	85	89.35	27.65	-	0.55
	2. Sınıf	60	92.79	40.08	0.58	

*p<0.05

Tablo 6'da yer alan ortalama puanlar incelendiğinde, araştırmaya katılan öğrencilerin sınıf değişkenine göre SMBÖ'de istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Fakat *Çatışma* alt boyutunda anlamlı düzeyde farklılaşma olduğu görülmektedir (t=-1.489; p<0.05). Bu farklılığın *az bağımlılık* düzeyinde olduğunu söylemek mümkündür. Bu bulgulara göre, 2. sınıf öğrencilerinin 1.sınıf öğrencilerine

göre sosyal medya ile daha fazla çatışma halinde olduğu sonucuna gidilebilir.

Tablo 7. Sosyal medya uygulamaları değişkenine göre varyans analizi (Anova) sonuçları

		N	\bar{x}	Ss	F	P	Farklılık Kaynağı
Meşguliyet	Facebook ^a	5	28.00	9.72			b-a
	Instagram ^b	7	34.85	10.18			b-f
	WhatsApp ^c	18	25.94	11.29	2.79	0.02*	d-c
	Hepsi ^d	49	33.63	11.70			d-f
	Instagram+WhatsApp ^e	48	32.55	10.72			e-a
	WhatsApp+Youtub ^{e f}	18	25.11	8.48			e-f
	Toplam	145	31.10	11.18			
Duygu Durum Düzenleme	Facebook ^a	5	11.80	2.28			b-a
	Instagram ^b	7	16.71	2.98			b-f
	WhatsApp ^c	18	9.47	4.88	4.25	0.001*	d-c
	Hepsi ^d	49	15.95	5.06			d-f
	Instagram+WhatsApp ^e	48	13.11	4.96			e-a
	WhatsApp+Youtub ^{e f}	18	9.35	3.56			e-f
	Toplam	145	12.29	4.97			b-a
Tekrarlam a	Facebook	5	11.20	3.83			
	Instagram	7	14.14	5.52			
	WhatsApp	18	9.11	4.68	1.46	0.205	
	Hepsi	49	11.16	4.89			
	Instagram+WhatsApp	48	11.48	5.31			
	WhatsApp+Youtube	18	9.50	4.630			
	Toplam	145	10.96	5.02			
Çatışma	Facebook	5	43.75	8.65			
	Instagram	7	45.28	21.07			
	WhatsApp	18	35.47	19.46	1.17	0.32	
	Hepsi	49	36.31	14.74			
	Instagram+WhatsApp	48	42.91	17.57			
	WhatsApp+Youtub ^e	18	35.33	17.84			
	Toplam	145	38.74	17.00			
SMBÖ	Facebook ^a	5	91.75	13.45			b-a

Instagram ^b	7	111.00	35.52			b-f
WhatsApp ^c	18	80.00	38.29	2.45	0.042*	d-c
Hepsi ^d	49	97.26	29.68			d-f
Instagram+WhatsApp ^e	48	97.82	36.10			e-a
WhatsApp+Youtub ^{e f}	18	74.29	20.61			e-f
Toplam	145	91.37	32.88			

*p<0.05

Tablo 7’de yer alan bulgular incelendiğinde, araştırmaya katılan öğrencilerin sosyal medya kullanma araçları değişkenine göre SMBÖ ve ölçeğin *Meşguliyet* ve *Duygu Durum Düzenleme* boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık görülmüştür. Bu sonuçlara göre, ölçeğin *Meşguliyet* alt boyutunda katılımcıların kullandıkları sosyal medya uygulaması kapsamında bu platformlara farklı düzeyde bağımlılık geliştirdikleri tespit edilmiştir. Bu boyutu ölçen maddeler dikkate alındığında (1-13) katılımcı bireylerin sosyal medya uygulamalarını kullanmadıkları zamanlarda bile zihinlerini sosyal medya ile meşgul ettikleri sonucuna varılabilir.

Sosyal medya bağımlılığı ölçeğinin bir diğer alt boyutu olan *Duygu-Durum Düzenleme* boyutunda ise kullanılan sosyal medya uygulamasının yüksek düzeyde anlamlı farklılık oluşturduğu görülmektedir (F=4.25; p<0.01). Bu sonuca göre, *Duygu-Durum Düzenleme* bağımlılığının tercih edilen sosyal medya uygulamasına göre farklı düzeylerde bağımlılık oluşturduğu görülmektedir (Tablo 7). Örneğin; Instagram kullanımı bu alt boyutta 16.71±2.98 ortalama puanı ile orta bağımlılık düzeyinde bulunmuştur (Tablo 7).

Tablo 8. Öğrencilerin sosyal medya paylaşım türü değişkenine göre varyans analizi (Anova) sonuçları

		N	\bar{x}	Ss	F	P
Meşguliyet	Fotoğraf	51	31.66	11.74		
	Haber	22	29.70	12.23		
	Video	11	26.81	7.54	0.75	0.56

	Gittiğiniz yerler	32	33.03	8.62		
	Hepsi	29	30.62	13.14		
	Toplam	145	31.10	11.18		
Duygu Durum Düzenleme	Fotoğraf	51	12.62	4.85		
	Haber	22	11.38	5.67		
	Video	11	11.81	4.70	0.86	0.48
	Gittiğiniz yerler	32	13.34	4.95		
	Hepsi	29	11.31	4.90		
	Toplam	145	12.29	4.97		
Tekrarlama	Fotoğraf	51	11.54	5.43		
	Haber	22	11.42	5.67		
	Video	11	10.27	4.10	0.93	0.44
	Gittiğiniz yerler	32	11.34	4.44		
	Hepsi	29	9.48	4.71		
	Toplam	145	10.96	5.02		
Çatışma	Fotoğraf	51	40.93	16.59		
	Haber	22	39.57	19.53		
	Video	11	37.20	14.36	0.53	0.71
	Gittiğiniz yerler	32	38.60	17.07		
	Hepsi	29	35.27	16.98		
	Toplam	145	38.74	17.00		
SMBÖ	Fotoğraf	51	96.02	33.90		
	Haber	22	88.16	39.27		
	Video	11	84.70	25.14	0.54	0.70
	Gittiğiniz yerler	32	92.82	26.49		
	Hepsi	29	86.33	36.01		
	Toplam	145	91.37	32.88		

*p<0.05

Tablo 8 incelendiğinde, araştırmaya katılan öğrencilerin sosyal medya paylaşım türleri değişkenine göre, sosyal medya bağımlılığı ölçeği ve alt boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir (p>0.05).

Tablo 9. Sosyal medya kullanım geçmişi değişkenine göre varyans analizi (Anova) sonuçları

		N	\bar{x}	Ss	F	P	Farklılık Kaynağı
Meşguliyet	1 yıldan az ^a	12	24.11	7.55			
	1-3 yıl arası ^b	48	29.68	11.46	2.71	0.02*	c-a
	3-6 yıl arası ^c	36	32.40	11.61			d-a
	7+ yıl ^d	49	34.85	10.75			
	Toplam	143	31.10	11.18			

Duygu Durum Düzenleme	1 yıldan az ^a	12	9.60	4.67		
	1-3 yıl arası ^b	48	12.27	5.29		
	3-6 yıl arası ^c	36	13.05	4.69	1.26	0.28
	7+ yıl ^d	49	12.30	4.87		
	Toplam	143	12.29	4.97		
Tekrarlama	1 yıldan az ^a	12	9.36	3.61		
	1-3 yıl arası ^b	48	11.29	5.18		
	3-6 yıl arası ^c	36	10.86	5.04	0.44	0.71
	7+ yıl ^d	49	11.08	5.19		
	Toplam	143	10.96	5.02		
Çatışma	1 yıldan az ^a	12	26.60	11.61		
	1-3 yıl arası ^b	48	41.82	18.58		c-a
	3-6 yıl arası ^c	36	36.47	14.41	2.80	0.02*
	7+ yıl ^d	49	40.97	17.20		b-a
	Toplam	143	38.74	17.00		
SMBÖ	1 yıldan az ^a	12	66.12	23.66		
	1-3 yıl arası ^b	48	94.00	38.48	1.73	0.16
	3-6 yıl arası ^c	36	93.00	30.28		
	7+ yıl ^d	49	92.00	28.77		
	Toplam	143	91.37	32.88		

*p<0.05

Tablo 9’da yer alan bulgular incelendiğinde, araştırmaya katılan öğrencilerin sosyal medya kullanım geçmişi değişkenine göre SMBÖ’nün alt boyutlarından *Meşguliyet* ve *Çatışma* boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmektedir. 1 yıldan az ve 1-3 yıl arası sosyal medya kullanım geçmişi bulunan öğrencilerin sosyal medya bağımlılık düzeyi 3 yıl ve üzerinde sosyal medya kullanım geçmişi bulunan bireylere göre anlamlı derecede düşüktür. Sosyal medya kullanım geçmişi arttıkça katılımcı bireylerin sosyal medya ile çatışma hali artmakta yani olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca sosyal medya kullanım geçmişi arttıkça yoğun olarak sosyal medya aktiviteleriyle meşguliyette artmaktadır.

Tablo 10. Sosyal medya bağımlılığının günlük sosyal medya kullanım düzeyine göre varyans analizi (Anova) sonuçları

		N	\bar{x}	Ss	F	p	Farklılık Kaynağı
Meşguliyet	0-1 saat ^a	36	23.58	8.67			d-a
	1-3 saat ^b	63	30.85	9.74	15.00	0.000*	d-b
	3-6 saat ^c	34	34.75	10.39			c-a
	6+ saat ^d	12	43.91	11.38			
	Toplam	145	31.10	11.18			
Duygu Durum Düzenleme	0-1 saat	36	9.26	4.88			d-a
	1-3 saat	63	12.57	4.21	8.58	0.000*	d-b
	3-6 saat	34	13.45	4.53			c-a
	6+ saat	12	16.25	5.92			
	Toplam	145	12.29	4.97			
Tekrarlama	0-1 saat	36	9.00	4.17			d-a
	1-3 saat	63	11.06	4.57	3.20	0.025	d-b
	3-6 saat	34	12.02	5.93			c-a
	6+ saat	12	13.16	5.44			
	Toplam	145	10.96	5.02			
Çatışma	0-1 saat	36	31.85	14.65			d-a
	1-3 saat	63	39.16	13.83			d-b
	3-6 saat	34	40.18	20.27	5.43	0.001	c-a
	6+ saat	12	54.00	19.85			
	Toplam	145	38.74	17.00			
SMBÖ	0-1 saat	36	73.26	29.69			d-a
	1-3 saat	63	91.85	25.04			d-b
	3-6 saat	34	98.50	36.39	9.36	0.000*	c-a
	6+ saat	12	125.45	36.20			
	Toplam	145	91.37	32.88			

*p<0.05

Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre, araştırmaya katılan öğrencilerin günlük sosyal medya kullanma süresi değişkenine göre SMBÖ ve alt boyutlarında yüksek düzeyde anlamlı farklılıklar saptanmıştır (p<0.01). Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak, günlük sosyal medya kullanım süresinin meslek yüksekokulu öğrencilerinin SMBÖ ve alt boyutlarının puanlarına etki ettiği ve günlük kullanım süresi arttıkça sosyal medya

bağımlılık düzeyinin de arttığı yorumu yapılabilir (Tablo 10).

Araştırmada kullanılan sosyal medya bağımlılığı ölçeği ve alt boyutları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Pearson korelasyon katsayısının mutlak değer olarak, 0.00-0.30 arasında olması düşük; 0.30-0.70 arasında olması orta; 0.70-1.00 arasında olması ise yüksek düzeyde bir ilişki olarak kabul edilmektedir [20]. Hesaplanan korelasyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için p anlamlılık değeri 0.05'ten küçük olmalıdır. Bu bilgiler doğrultusunda korelasyon analizleri yapılmış ve analiz sonucunda elde edilen verilere Tablo 11'de yer verilmiştir.

Tablo 11. Sosyal medya bağımlılığı ölçeği ve alt boyutlarının korelasyonu

		SMB Ö	Meşguli yet	Duygu Durum Düzenle me	Tekrarla ma	Çatış ma
SMBÖ	R	1	.86**	.81**	.81**	.91**
	P		.000	.000	.000	.000
Meşguli yet	R	.86**	1	.72**	.64**	.64**
	P	.000		.000	.000	.000
Duygu Durum Düzenle me	R	.81**	.72**	1	.64**	.64**
	P	.000	.000		.000	.000
Tekrarla ma	R	.81**	.64**	.64**	1	.71**
	P	.000	.000	.000		.000
Çatışma	R	.91**	.64**	.64**	.71**	1
	P	.000	.000	.000	.000	

**Korelasyon 0.01 düzeyinde önemli kabul edilmektedir

Sosyal medya bağımlılığı ölçeği ve alt boyutları arasındaki ilişkinin düzeyini belirlemek için yapılan korelasyon analizi sonucunda elde edilen bulgulara bakıldığında; en güçlü ilişkinin *Meşguliyet* boyutu ile *Duygu-Durum Düzenleme* boyutu arasında olduğu görülmektedir (r=.72; p<0.01). Bununla birlikte *Tekrarlama* ile *Meşguliyet* boyutları arasında orta düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (r=0.64; p<0.01). Benzer şekilde *Duygu-Durum Düzenleme* ve *Çatışma* boyutları arasında pozitif yönlü orta düzeyde anlamlı bir ilişki

görülmüştür ($r=0.640$; $p<0.01$). Ayrıca *Tekrarlama* ile *Çatışma* boyutu arasında pozitif yönde güçlü anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ($r=0.71$; $p<0.01$).

Tartışma ve Sonuç

Araştırmada meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya bağımlılık düzeyleri ile sosyal medya kullanım alışkanlıkları incelenirken, çalışmanın ana konusunu oluşturan değişkenlerin çeşitli demografik değişkenlere bağlı olarak farklılaşma durumu da araştırılmıştır. Verilerin analizi sonucu elde edilen bulgular çalışmanın amaçları ve alt amaçları kapsamında sırasıyla sunulmuştur. Bununla birlikte analizler ölçeğin toplam puanları ve alt ölçek boyutları kapsamında ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen bulgular yorumlanırken $p=.05$ anlamlılık derecesi baz alınarak bulguların yorumlanması gerçekleştirilmiştir.

Araştırmaya katılan meslek yüksekokulu öğrencilerinin büyük kısmının en az bir sosyal medya platformuna aktif ya da pasif olmak üzere üye oldukları tespit edilmiştir (%98.6). Çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden öğrencilerin çoğunlukla Çocuk Gelişimi bölümü öğrencilerinden ve kadın katılımcılardan oluştuğu görülmüştür. Çalışmada öncelikle meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya kullanım alışkanlıkları incelenmiştir. Köroğlu ve Tutgun-Ünal (2013), gerçekleştirdikleri çalışmada sosyal medya araçlarına bağımlılığın oluşup oluşmama durumunun tespiti için bu ortamların ne düzeyde ne şekilde benimsendiğinin belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koyan çalışmalar yapıldığını vurgulamışlardır [21]. Bu çalışmada da öncelikle katılımcıların sosyal medyayı benimseme düzeyi belirlenmiş ve sosyal medya bağımlılık durumları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Katılımcıların ağırlıklı olarak Instagram ve WhatsApp kullandıkları, paylaşım türü olarak çoğunlukla fotoğraf paylaşımı yaptıkları, sosyal medya kullanım geçmişinin en fazla oranda 7 yıl ve üzerinde olduğu ve yine çoğunlukla günlük 1-3 saat arasında sosyal medya

kullandıkları belirlenmiştir. Sosyal medya platformlarından dünya genelinde kullanıcı sayısı kapsamında liderliği son yıllarda bırakmayan Facebook'un meslek yüksekokulu öğrencileri tarafından tercih sırasında gerilerde yer alması araştırmanın dikkat çeken sonuçlarından biridir. Oysa Çakır ve arkadaşlarının (2015), Ahi Evran Üniversitesi Eğitim Fakültesi 2. ve 3. sınıf düzeyinde öğrenim gören 909 öğretmen adayı ile yürütmüş olduğu çalışmada, Facebook'un katılımcılar tarafından en çok tercih edilen sosyal medya platformu olduğu sonucuna ulaşılmıştır [22].

Genç yetişkinler arasında en popüler olan Instagram, en hızlı büyüyen sosyal ağlardan birini temsil etmektedir. Instagram kullanıcılarının % 59'undan fazlası 18 ile 29 yaş arasındadır [23]. Bu araştırmanın çalışma grubunu oluşturan meslek yüksekokulu öğrencilerinin de söz konusu yaş aralığında olduğu ve katılımcıların Instagram kullanımının fazla olduğu belirlenmiştir. Takipçi sayısındaki artış gibi yüksek değerler yüksek popülariteye işaret ettiğinden [24] genç bireyler arasında tercih edildiği düşünülmektedir. Bazı kullanıcılar için, bu popülarite bağımlı olma riski taşımaktadır [10]. Bunun yanında, İngiltere'de son zamanlarda yapılan büyük çaplı bir anket Instagram'ı ergenlerin refahı açısından mevcut sosyal medya platformları arasında en zararlısı olarak tanımlamaktadır [25].

Araştırmanın ikinci alt amacı kapsamında cinsiyet değişkenine göre anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Fakat incelenen bazı araştırmalarda kadınların sosyal medya bağımlılıklarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Balcı ve Tiryaki (2014) araştırmalarında, kadınların sosyal medya ile daha fazla meşgul olduğu ve duygusal destek aldıklarını belirtmişlerdir [26]. Öğrenim görülen bölüm değişkenine bağlı olarak yapılan analizler sonucunda, Elektrik ve Enerji bölümü ile Çocuk Gelişimi bölümü öğrencilerinin *Duygu-Durum Düzenleme* ve *Çatışma* alt boyutlarında sosyal medyaya bağımlılık düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, bu bölümlerde öğrenim görmekte olan öğrenciler sosyal medyadan daha fazla duygusal destek alma gerekliliği duymaktadır. Bununla birlikte

Elektrik ve Enerji bölümü ile Çocuk Gelişimi bölümü öğrencileri sosyal medya ile daha fazla çatışma halinde yani daha fazla olumsuz etkilenmektedir. Tutgun-Ünal (2015) ise, farklı fakültelerde eğitim gören üniversite öğrencileriyle yürüttüğü çalışmasında, Hemşirelik Fakültesi'nde öğrenim gören sosyal medya kullanıcılarının *Duygu-Durum Düzenleme* boyutunda sosyal medya bağımlılık düzeylerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır [3].

Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin sınıf değişkenine göre yapılan analizler sonucunda 2.sınıf öğrencilerinin lehine anlamlı farklılık saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 2.sınıf öğrencileri 1.sınıf öğrencilerine göre sosyal medyaya *Çatışma* boyutunda daha bağımlıdır. Bu bağımlılığın *az bağımlılık* düzeyinde olduğu söylenebilir. Sosyal medya ortamları değişkenine göre elde edilen sonuçlara göre, SMBÖ ile ölçeğin *Meşguliyet* ve *Duygu-Durum Düzenleme* boyutunda anlamlı farklılıklar görülmüştür. Özellikle Instagram kullanımının bireyleri orta düzeyde bağımlılık boyutuna getirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, sosyal medya ortamları türü kullanıcıların bu ortamlara farklı düzeylerde bağımlılık geliştirmesine neden olmaktadır. Kullanılan sosyal medya hesap sayısı arttıkça sosyal medya bağımlılık düzeyinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Kullanıcılar sosyal medya ortamlarını kişisel problemlerinden bir kaçış ortamı olarak görmekte ve bu ortamlara duygusal bir sığınma durumu yaşamaktadırlar.

Araştırmaya katılan meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya kullanım geçmişine yönelik olarak sosyal medya bağımlılık düzeyleri uygun analiz teknikleriyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, *Meşguliyet* ve *Çatışma* boyutlarında anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir. Sosyal medya kullanım geçmişi arttıkça bu boyutlarda bağımlılık düzeyi de artmaktadır. Meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya platformlarını kullanma yılı arttıkça alışkanlık oluştuğu ve zamanla vazgeçememe boyutuna gelerek bu platformlara bağımlılık oluşturdukları söylenebilir. Meslek yüksekokulu öğrencilerinin günlük sosyal medya kullanım

süresi arttıkça sosyal medya bağımlılık düzeylerinin de arttığı çalışmanın ulaşılan sonuçları arasındadır. Araştırma sonucumuzu destekleyen bir çalışmada Çiftçi (2018), günde 5 saat ve üzerinde interneti kullanan öğrencilerin günde 1-3 saat arasında kullananlara göre sosyal medyaya daha fazla bağımlı olduğu sonucuna ulaşmıştır [27]. Literatürle uyumlu olarak bu çalışma, sosyal ağları daha sık ve daha uzun süre kullanan katılımcıların bağımlılık tanısına sahip olduklarını tespit etmiştir [28].

Araştırmada kullanılan SMBÖ ile alt boyutları arasında yapılan korelasyon incelemesi sonucunda boyutlar arasında pozitif yönlü güçlü ve orta düzey ilişkiler tespit edilmiştir. Bireyin sosyal medya ile meşguliyetinin artması duygu durumlarında da o kadar etkili olabilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, ölçeğin bu çalışmada kullanılmasının uygunluğuna işaret etmekle birlikte, bir boyuta ait sosyal medya bağımlılık düzeyinin diğer boyuta ait bağımlılık düzeyini pozitif yönde istatistiksel açıdan anlamlı olarak etkilediğini de göstermektedir.

Sonuçlar

Araştırmanın genel sonuçlarına bakıldığında, meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya kullanım düzeyleri bireylerin günlük yaşamında meşguliyet, duygu durumu, çatışma gibi farklı boyutlarda psikolojik sorunlar doğurmaktadır. Gittikçe artan sosyal medya çeşitliliği ve sosyal medya kullanım oranı, ortaya çıkan bu sorunların temel nedeni olarak görülmektedir. Literatürde yer alan konuyla ilgili yapılmış çalışmaların genelinde, kullanıcı bireylerin tercih ettikleri sosyal medya uygulama sayılarının artmasıyla birlikte genç kullanıcıların sosyal medya bağımlılık düzeylerinin de arttığı belirtilmektedir. Bu sonuç, genç bireyler tarafından sosyal medya uygulamalarına geliştirilen bağımlılık düzeylerinin belirli aralıklarla izlenilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medyaya bağımlılıklarının *az bağımlılık düzeyinde* olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte araştırma kapsamında farklı değişkenlere bağlı olarak farklı boyutlarda bağımlılık düzeyi geliştirildiği

unutulmamalıdır. Son olarak, bu çalışmanın bir yüksekokulun ön lisans bölümleriyle sınırlı olması, yaş ve eğitim düzeyi açısından heterojen yapının az olması bu çalışma için potansiyel bir sınırlamadır. Konuyla ilgili gelecekte gerçekleştirilecek araştırma sonuçlarının daha geniş bir nüfusa genellenebilmesi için, farklı eğitim geçmişlerine sahip çeşitli yaş gruplarından oluşan daha heterojen ve fazla sayıda katılımcı grubu ile çalışma yürütülebilir.

Öneriler

Bu çalışma ile meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medya kullanım alışkanlıkları ve sosyal medya bağımlılık düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı eğitim kademesinde öğrenim görmekte olan üniversite öğrencileriyle de benzer çalışmalar yürütülebilir. Bunun yanında, sosyal medya bağımlılığı oluşturmaya yönelik davranışların farklı değişkenler açısından incelendiği çalışmalar yapılabilir.

Günümüzde popülerliği gittikçe artan Instagram kullanımının meslek yüksekokulu öğrencilerinin bu uygulamadaki takipçi sayısı artışı ile öznel mutluluğu üzerine etkisi ve sosyal medya bağımlılığı arasındaki ilişkiler incelenebilir. Bununla birlikte üniversite eğitimi alan meslek yüksekokulu öğrencilerinin sosyal medyayı faydalı ve kontrollü kullanımına yönelik öğretim elemanları tarafından farkındalık çalışmaları oluşturulabilir. Sosyal medyanın daha çok eğitimsel yönünün benimsetilebilmesi adına uygulamalı derslerin bir kısmı sosyal medya platformları üzerinden gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] We are Social. URL: <https://wearesocial.com/digital-2020> (Erişim Tarihi: 28.03.2020)
- [2] URL: <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist> (Erişim Tarihi: 28.03.2020)
- [3] Ünal Tutgun, A. (2015). *Sosyal Medya Bağımlılığı: Üniversite Öğrencileri Üzerine Bir Araştırma*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Arslan, A., Kırık, A. M., Karaman, M., ve Çetinkaya, A. (2015). Lise ve Üniversite Öğrencilerinde Dijital Bağımlılık. *Uluslararası Hakemli İletişim ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*, 8(8), 34-58.
- [5] Alzougool, B. (2018). The Impact Of Motives For Facebook Use On Facebook Addiction Among Ordinary Users in Jordan. *International Journal of Social Psychiatry*, 64(6), 528-535.
- [6] Anderson, M., & Jiang, J. (2018). Teens, social media & technology 2018. *Pew Research Center*, 31, 2018.
- [7] Marengo, D., Longobardi, C., Fabris, M. A., & Settanni, M. (2018). Highly-Visual Social Media and Internalizing Symptoms

- in Adolescence: The Mediating Role of Body Image Concerns. *Computers in Human Behavior*, 82, 63-69.
- [8] URL: http://www.piperjaffray.com/private/pdf/CM-19-0338%20TSWT%20Infographic%20Spring%202019_11x17.pdf (Erişim Tarihi: 31.05.2020)
- [9] Brown, Z., & Tiggemann, M. (2016). Attractive Celebrity and Peer Images on Instagram: Effect on Women's Mood and Body Image. *Body Image*, 19, 37-43.
- [10] Kuss, D. J., & Griffiths, M. D. (2011). Online Social Networking and Addiction—A Review Of The Psychological Literature. *International Journal of Environmental Research And Public Health*, 8(9), 3528-3552.
- [11] Lup, K., Trub, L., & Rosenthal, L. (2015). Instagram# instasad?: Exploring Associations Among Instagram Use, Depressive Symptoms, Negative Social Comparison, And Strangers Followed. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 18(5), 247-252.
- [12] Sherlock, M., & Wagstaff, D. L. (2018). Exploring The Relationship Between Frequency Of Instagram Use, Exposure To Idealized Images, And Psychological Well-Being In Women. *Psychology of Popular Media Culture*.
- [13] Rajesh, T., & Rangaiah, B. (2020). Facebook Addiction And Personality. *Heliyon*, 6(1), e03184.
- [14] Chung, K. L., Morshidi, I., Yoong, L. C., & Thian, K. N. (2019). The Role Of The Dark Tetrad And Impulsivity In Social Media Addiction: Findings from Malaysia. *Personality and Individual Differences*, 143, 62-67.
- [15] Longstreet, P., & Brooks, S. (2017). Life Satisfaction: A Key to Managing Internet & Social Media Addiction. *Technology in Society*, 50, 73-77.
- [16] Aparicio-Martínez, P., Ruiz-Rubio, M., Perea-Moreno, A. J., Martínez-Jiménez, M. P., Pagliari, C., Redel-Macías, M. D., & Vaquero-Abellán, M. (2020). Gender Differences In The Addiction To Social Networks In The Southern Spanish University Students. *Telematics and Informatics*, 46, 101304.
- [17] Seo, D., & Ray, S. (2019). Habit And Addiction In The Use Of Social Networking Sites: Their Nature, Antecedents, And Consequences. *Computers in Human Behavior*, 99, 109-12
- [18] Folaranmi, A. O. (2013). A Survey Of Facebook Addiction Level Among Selected Nigerian University Undergraduates. *New Media and Mass Communication*, 10, 70-80.
- [19] Karasar, N. (2009). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri: Kavramlar-İlkeler-Teknikler*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- [20] Büyükoztürk, Ş. (2011). *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı* (14. Baskı). Ankara: Pegem Yayıncılık.
- [21] Köroğlu, O. ve Tutgun Ünal, A. (2013). Öğretmen Adaylarının Sosyal Ağları Benimseme Düzeyleri İle Yalnızlık Düzeyleri Arasındaki İlişki. *Yeni Medya Kongresi*, Kocaeli.
- [22] Çakır, H., Hava, K., Gülen, Ş. B. ve Özüdoğru, G. (2015). Öğretmen Adaylarının Sosyal Ağ Sitelerinde Güvenlik Farkındalıklarının İncelenmesi. *International Journal of Human Sciences*, 12(1), 1303-5134.
- [23] Alhabash, S., & Ma, M. (2017). A Tale of Four Platforms: Motivations and Uses of Facebook, Twitter, Instagram, and Snapchat Among College Students?. *SocialMedia+Society*, 3(1), 2056305117691544.
- [24] Woodruff, S., Santarossa, S., & Lacasse, J. (2018). Posting# selfie on Instagram: What are People Talking About?. *The Journal of Social Media in Society*, 7(1), 4-14.
- [25] Royal Halk Sağlığı Derneği. URL: <https://www.rsph.org.uk/our-work/campaigns/status-of-mind.html> (Erişim Tarihi: 30.05.2020)
- [26] Balcı, Ş., Tiryaki, S. (2014). Facebook addiction among high school students in Turkey. IISES- The International Institute of Social and Economic Sciences: Vienna 10th Academic Conference, Vienna, Austria, June 3-6, 2014, pp.120-134.
- [27] Çiftçi H. (2018) Üniversite Öğrencilerinde Sosyal Medya Bağımlılığı. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(4), 417-434.
- [28] Saikia, A. M., Das, J., Barman, P., & Bharali, M. D. (2019). Internet Addiction And Its Relationships With Depression, Anxiety, And Stress In Urban Adolescents Of Kamrup District, Assam. *Journal Of Family & Community Medicine*, 26(2), 108.

Çoklu Sosyal Ağlarda Aynı Kullanıcıları Belirleme Yöntemi

Method to Determine the Same Users on Multiple Social Networks

Ahmet Müngen¹, Betül Bulut², Mehmet Kaya^{3*}

¹Ostım Teknik Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, amungen@gmail.com

²Tarsus Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Mersin, betulbulut@tarsus.edu.tr

³Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, kaya@firat.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Anahtar kelimeler:

çoklu sosyal ağlar, düğüm hizalama, vektör tabanlı benzerlik algoritması, aynı kullanıcıların tespit edilmesi

Makale geçmişi:

Geliş: 1 Temmuz 2020

Düzeltilme: 3 Temmuz 2020

Kabul: 13 Temmuz 2020

Doi: 10.24012/dumf.761949

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 1 July 2020

Revised: 3 July 2020

Accepted: 13 July 2020

Keywords:

multiple social networks, node alignment, vector-based similarity algorithm, identifying the same users

ÖZET

Kullanıcılar tarafından değişik amaçla kullanılan her sosyal ağ farklı kullanıcı verileri içermektedir. Kullanıcıların farklı sosyal ağlardaki hesaplarını bulmak ve bulunan verileri birleştirip tek bir veri havuzunda derlemek hem tavsiye edici sistemleri iyileştirecek hem de kullanıcı deneyimini arttıracak çok önemli bir etken olacaktır. Çalışma kapsamında özgün düğüm hizalama ve düğüm benzerlik yöntemleri önerilmiştir. Topolojik bazlı düğüm önermede çapa yöntemi kullanılırken bağlantılar arası yoğunluk ilişkileri de dikkate alınmıştır. Benzerlik tabanlı düğüm benzerlik yönteminde ise öznitelik seçim kriterleri, başlangıç noktası tespit problemi ve değişken formülasyon ile başarılı düğüm eşleştirme sayısı artırılmıştır. Bununla birlikte bu çalışmada hem kullanıcıların profil özelliklerine göre hem de diğer kullanıcılar ile aralarındaki ilişkilere göre hizalama ve benzerlik tespiti yapılmıştır. Farklı sosyal ağlardaki aynı hesaplarının bulunması ile ilgili dokuz farklı metod önerilmiştir. Önerilen yöntemler İki ile altı arasında değişen sosyal ağ verilerinde kadar toplanan sosyal ağlarda test edilmiş ve kullanıcıların eşleşme başarı oranları ölçülmüştür. Bu sonuçlarda, %95'lere varan başarı oranları yakalanmıştır. Böylece çoklu sosyal ağlarda farklı öznitelikleri aynı graf üzerinde toplanmış kullanıcılar için birden fazla sosyal ağı kapsayan geniş bir kullanıcı profili oluşturulmasına imkân sağlanmıştır.

ABSTRACT

Each social network used by users for different purposes contains different user data. Finding users' accounts in different social networks and combining the data found and compiling them into a single repository will be a very important factor that will both improve the recommended systems and increase the user experience. Within the scope of the study, original node alignment and node similarity methods are proposed. While using the anchor method in topological-based node proposition, density relationships between the links are also taken into consideration. In the similarity based node similarity method, attribute selection criteria, starting point detection problem and variable formulation have increased the number of successful node matching. However, in this study, alignment and similarity were determined both according to the profile characteristics of the users and the relationships between them. Nine different methods have been proposed to find the same accounts in different social networks. Proposed methods Tested on social networks collected in social network data ranging from two to six, and match success rates of users were measured. In these results, success rates up to 95% have been achieved. Thus, it is possible to create a wide user profile covering multiple social networks for users whose different attributes are gathered on the same graph in multiple social networks.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Mehmet Kaya

✉ kaya@firat.edu.tr

Giriş

Platformlar arası sosyal ağ birleştirmenin ana fikri; farklı sosyal ağlardaki kullanıcıların hesaplarının tespit edilmesidir. Bu konunun araştırılması, platformlar arası sosyal ağ araştırması için bir temel oluşturacaktır. Hiçbir çözüm tüm anonim sosyal ağ kullanıcılarını tanımlayamaz. Ancak bazı sosyal ağ öznitelikleri, birden fazla sosyal ağdaki kullanıcıların bir kısmını tanımlamak için kullanılabilir. Kullanıcıların özniteliklerine erişmek için özel bir izne gerek yoktur ve bu öznitelikler kullanıcılar tarafından farklı amaçlarla (kötü niyetli kullanıcılar dahil) kolayca taklit edilebilir. Bu nedenle detaylı analiz edilmeyen düğüm benzerlik yöntemleri oldukça güvensizdir. Konum verilerinin sosyal ağlardan elde edilmesi ve yazma stiline kısa cümlelerden çıkarılması zor olduğundan düğüm benzerlik bulma algoritmalarında GPS ve yazım türü gibi veriler pek kullanılmaz. Her ne kadar kullanıcıların bağlantıları toplanabilse de ve neredeyse tüm sosyal ağlarda taklit profiller ile bir kullanıcının taklit edilmesi mümkün olsa da, taklit unsuru dışarıda tutularak kullanıcıları tanımlamak için yapılan bazı çalışmalara rastlanmıştır [1].

Sosyal ağlar tasarlanırken kullanıcıların en çok işlerine yarayacak özellikler, öznitelik olarak belirlenir. Her sosyal ağın ihtiyacı, hedef kitlesi ve öz niteliklerinin farklı olması beklenen bir durumdur. Sadece fotoğraf paylaşımı yapılan sosyal ağlarda bile fotoğrafın paylaşım amacının değişmesi özniteliklerin değişmesine yol açar. Örneğin fotoğrafın hangi makine ile çekildiği, nerede çekildiği ve diğer profesyonel fotoğrafçıları ilgilendiren detayların bulunduğu bir sosyal ağın öncelikleri, hızlı paylaşım yapılan, filtre eklenen ve etiket modeli ile çalışan bir sosyal ağın önceliklerinden farklıdır. Her sosyal ağ, kullanıcılarının sağladığı bilgiler ve kullanıcıların birbiriyle iletişiminden ötürü ayrı bir uzay olarak ifade edilir. Her sosyal ağ ayrı bir uzay olarak düşünüldüğünde tamamen birbirinden farklı heterojen uzaylar bütünlüğü oluşur. Kullanıcılar farklı uzaylarda farklı bilgileri ve ürettikleri farklı eserleri paylaştığı için farklı sosyal veriler genelde özgün bilgi içerir. Bu çalışmada farklı sosyal ağlarda yani

farklı uzaylarda profili olan kullanıcıların profil bilgilerinin birleştirilmesi amaçlanmıştır. Farklı sosyal ağların birleştirilmesi son yıllarda popüleritesi artan bir konudur. Bu alanda yapılmış çalışmalar ve yayınlanmış bazı yöntemler mevcuttur [2]. Bu konuda yapılan çalışmalar genel olarak ikiye ayrılır: Birincisi özniteliklerin ilişkisine bakarak farklı ağlardaki düğümlerin benzerlik bazında eşleştirilmesidir. İkincisi ise uzay üzerindeki düğümler arasındaki ilişkiyi analiz ederek yapılan düğüm birleştirme işlemidir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri aşağıdaki gibidir: Literatürde mevcut yöntemler bölümünde düğüm benzerlik ve topolojik hizalama yöntemlerinden bahsedilmiş ve literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Veri Toplama ve Sosyal Ağ seçimi bölümünde veri kümelerinin toplanması ile ilgili işlemler anlatılmıştır. Sonraki bölümlerde önerilen yöntemler ve elde edilen sonuçlar anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuç bölümüdür.

Literatürdeki Mevcut Yöntemler

Düğüm Benzerlik Yöntemleri

Düğüm benzerlik yöntemi ile ilgili iki temel yaklaşım vardır. İlk yaklaşım, esas olarak düğüm yapısına odaklanan bir ağın yerel özelliklerine dayanır; ikinci yaklaşım, bir ağdaki genel yol yapısını tespit eden global özelliklere dayanmaktadır.

Bir ağdaki düğümlerin “benzerliği” analiz etmek için en bilinen yerel benzerlik yöntemleri Adamic Adar [3], Jaccard [4] ve Ortak Komşular [5] endeksidir. Bu yöntemler arasında Adamic Adar [3] yönteminin bir sosyal ağdaki yeni bağlantıları tahmin etmede en iyi performansı gösterdiği bildirilmiştir. Jaccard Benzerlik yöntemine benzeyen Adamic Adar ilk olarak iki web sayfasının ne kadar benzer olduğunu ölçmüştür. Friend of Friend algoritması (FOAF) olarak da bilinen Ortak Komşular yöntemi ise [5], arkadaş tavsiyesi görevi için facebook.com ve hi5.com gibi birçok popüler sosyal ağ tarafından benimsenmiştir. FOAF, birçok ortak komşuları olan iki düğümün gelecekte bir bağlantı

oluşturma olasılığının yaygın olduğu fikrine dayanır. Ayrıca, diğer yerel benzerlik önlemleri tercihli bağlılığa dayanmaktadır. Tercihli bağlamanın temel dayanağı, yeni bir kenarın bir düğümü içermesi olasılığının, komşularının mevcut sayısı ile orantılı olmasıdır. Bu konuda çeşitli küresel yaklaşımlar vardır. Bunlardan bazıları En Kısa Yol algoritması, RWR algoritması ve SimRank algoritmasıdır. Liben ve Kleinberg [6] bir grafikteki herhangi bir düğüm çifti arasındaki en kısa yolun tanımlanmasının bağlantı tahmini için kullanılabilirliğini iddia etmişlerdir. İki düğüm arasındaki en kısa yolun hesaplanması, bilinen herhangi bir en kısa yol algoritması kullanılarak yapılabilir [7]. RWR algoritması [8] (Yeniden Başlatma algoritması ile Rastgele Yürüme) bir grafik boyunca rastgele yürüyüşün Markov zincir modeline dayanmaktadır. RWR ile aynı yönde Fouss ve ark. [9], bir ağdaki herhangi bir düğüm çifti arasındaki benzerlikleri elde etmek için bir Rastgele bir yürüyüş modeli önermişlerdir. Bu düğümler, iki düğümü bağlayan yolların sayısı arttığında ve bunları bağlayan yolların uzunluğu azaldığında artar. Symeonidis ve Tiakas [10] önerdikleri FriendTNS yöntemi ile hem zaman merkezli hem de başarı oranı yüksek olan bir benzerlik yöntemi önermişlerdir. SimRank [11] bir ağın yapısal bağlamına dayanan küresel bir benzerlik ölçüsü de hesaplar. Son zamanlarda Clauset ve ark. [12] hiyerarşik ağ yapısına dayanan bir algoritma önermişlerdir. İlk olarak, gerçek ağ verilerine istatistiksel olarak sığdırmak için hiyerarşik rastgele bir grafik kullanırlar. Daha sonra, bağlantı olasılığının hiyerarşideki düğümlerin derinliğine bağlılığı çıkarılabilir. Ağın eksik bağlantıları, bağlantı olasılığına göre azalan sırada sıralanarak tahmin edilebilir. Son olarak, Blondel ve ark. [6] farklı yönlendirilmiş ağların düğümleri arasındaki yol temelli benzerlik ölçümlerini dikkate almıştır [13].

Düğüm Hizalama Yöntemleri

Çevrimiçi sosyal ağlarda kullanıcıları bir graf veya vektörel bir uzay üzerinde haritalamak son zamanlarda akademik çalışmalarda sık

görülmektedir [14]. Kullanıcı etkileşimleri ile oluşturulan harita sayesinde bağlantı tahmini gibi uygulamalardan yararlanabilir [15] ve öneri sistemleri için kullanılabilir [16]. Heterojen sosyal ağlarını hizalama, veri seyrekliği sorununu hafifletebilir ve sosyal ağ analizinde yararlı çalışmalar yapmak için önemlidir. Ayrıca kullanıcıların hesap bilgilerini genelde değiştirmedikleri söylenebilir [17]. Ayrıca, farklı ağlardaki demografik bilgilerin dengesiz olma olasılığı yüksektir ve zengin ve doğru profiller ile her zaman karşılaşmayabilir. Bazı araştırmacılar dil stilini ve ifadeyi benimsemeyi kullanarak sınıflandırmayı önerdiler [18]. Alternatif olarak, sosyal ağların yapısal bilgileri doğrudan kullanıcı uyumu için kullanılabilir. Ağlar arası, bağlantılar ve ortak kullanıcılar olasılıksal bir grafik sınıflandırıcı elde etmek için kullanılabilir [19] veya alaka düzeyi hesaplaması için birden fazla ağın ortak bir alt uzayı oluşturulabilir [20]. Bu ilgili çalışmaların çoğu bağlantıların yönlendirilmemiş olduğunu düşünmektedir. Müngen ve arkadaşları önerdikleri çalışmada hem düğüm bilgileri hem de düğümler arası ilişkilere bakarak farklı ağlardaki aynı kişiye ait hesapları bulmaya çalışan öncü bir çalışma yapmışlardır [21]. Zhang ve arkadaşları topoloji tabanlı hizalama sürecine rehberlik etmek için düğüm nitelik bilgisinden faydalanan bir düğüm hizalama yöntemi önermişlerdir [22]. Trung ve arkadaşları gömme modeline dayanan tamamen denetlenmeyen bir ağ hizalama çerçevesi önermiştir [23]. Zhan ve arkadaşları birleşik bir bağlantı tahmini çerçevesi önererek toplu bağlantı füzyonunu (CLF) temel alan kolektif rastgele yürüyüş ile kısmen hizalanmış olasılıksal ağlar kullanmışlardır [24].

Veri Toplama ve Sosyal Ağ Seçimi

Sosyal Ağlar Karşılaştırılması

Çalışmanın seçilen veri setlerinden 3 adet sosyal ağ metin tabanlı, 3 adet sosyal ağ fotoğraf tabanlı, 2 adet sosyal ağ coğrafya tabanlı ve 1 adet sosyal ağ video tabanlıdır. Metin tabanlı olmayan sosyal ağlarda da analizlerin birçoğu

diğer paylaşım tipleri ile birlikte metin olarak sunulan veriler kullanılarak yapılmıştır. Örneğin fotoğraf bazlı paylaşımı ön plana çıkaran Instagram sosyal ağında fotoğrafın açıklaması ve etiketlerini gösteren metin ele alınmıştır.

Tüm sosyal ağlar kullanıcılarını tanımlamak için tekil bir kullanıcı adı alınmasını zorunlu tutmaktadır. Meetup ve Foursquare sosyal ağlarında lokasyon alma ve lokasyonun doğru tespit başarı oranları coğrafi tabanlı sosyal ağlar olduğu için çok yüksektir. Kullanılan dillerin tespiti, sosyal ağda paylaşılan içerikler ve varsa kullanıcının kendini ifade ettiği açıklamalardan alınarak yapılmaya çalışılmıştır. Çok dil kullanan kullanıcıların görülmesi sosyal ağlarda normaldir. Bir profil için İngilizce ve İspanyolca dışında kalan dilin ağırlığı bu iki dilin ağırlığının iki katından fazlaysa kullanıcı yerel dili olarak atanmaktadır. Aktif Saat Dilimi kullanıcının sosyal ağı kullandığı aktif saat dilimini vermektedir. Yirmi dört saatten oluşan gün 6 eşit parçaya bölünerek kullanıcının hangi parçada sosyal ağda daha aktif olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Diğer sosyal ağ bağlantıları kullanıcıların beyan ettikleri diğer sosyal ağların linklerini / listesini içerir. Ortak etkinlik kaydı kullanıcıların birlikte katıldıkları veya katılmak istediklerini beyan ettikleri etkinliklerin kaydını içerir.

Tablo 1. Etkileşim Türü Olarak Tablo

Özellik / SA	T	I	F	M	L	P	R	F	Y
Beğeni (Like)	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
Tekrarlama (Retweet)	✓	T	-	-	-	T	-	-	-
Yorum	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓
Bahsetme (Mention)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓

Tablo 1’de etkileşim türlerine göre sosyal ağlar verilmiştir

Tablo 2. Lokasyon ve Dil Tespiti

Özellik / SA	T	I	F	L	P	R	Y
Açıklamada Lokasyon Bilgisi	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Paylaşılan İçerik	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
Yorum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-

Tablo 2’de lokasyon ve dil tespiti bazlı sosyal ağ sınıflandırması sunulmuştur.

Sosyal ağlar, Tablo 1’de ifade edilen özelliklerden çok daha geniş bilgiler verebilir. Birçok sosyal ağ kullanıcısı tüm verileri doldurmamakta veya halka açık olarak sunmamaktadır. Bundan dolayı bu çalışmanın veri toplama aşaması hazırlanırken, profillerin en az yarısını dolduran kullanıcıların verileri ele alınmıştır.

Ortak Veri Havuzu Hazırlama

Çalışmada birden fazla sosyal ağ hesabına sahip kullanıcıların aynı kişi olup olmadıklarının tespiti üzerine olacağı için sosyal ağlardan elde edilen verilerde aynı kullanıcıların olması gerekmektedir.

Çalışmamızda çapa yöntemi kullanıldığı için halihazırda en az bir düğümün birden fazla sosyal ağda birbiri ile başlangıç durumu olarak eşleşmesi gerekmektedir.

Bu çalışmamızda, ana çapa, çapa ve aday çapa olmak üzere 3 farklı tipte çapa düğüm kullanılmıştır. Bu çapa düğümler nitelik olarak tamamen birbiri ile aynıdır. Sadece farklı şekilde atamalar yapılabilir ve bu atamalar, adımlar içinde değişebilir. Ana çapa düğüm başlangıç durumunda ilk olarak başlanan ve uzayları birbirine bağlayan düğümdür. Aday çapa, ana çapa düğümü atandıktan sonra ana çapa düğümü etrafındaki düğümler arasında farklı iki uzayda bulunan ve birbirine her öznitelik yönünden bakıldığında eşik değerini geçen benzer düğüme verilen isimdir. Aday

düğüm işlem anından sonraki ilk anda eşik değerini geçiyorsa birleştirilip iki uzayı birleştiren tek düğüm olarak artık çapa olarak isimlendirilir.

Ana çapa seçimi yapılırken kullanıcıların kendi beyanları ile öğrenilen birden fazla sosyal ağdaki hesapları birbirine bağlanmıştır. Bu bağlama ile 2 uzay arası 2 farklı düğüm aynı düğüm olarak değişmiş ve 2 farklı düğümün tüm özellikleri tek düğümde toplanmıştır. Bir önceki bölümde bahsedilen farklı sosyal ağlar için türetilmiş veya özgün özniteliklerin eşleşme tablosu kullanılarak aynı öznitelikler tekilleştirilmiştir.

Ana Çapa düğümün birinci derece komşu düğümlerinin verileri toplanır. Toplanan tüm komşular aday çapa düğüm olarak adlandırılır. Aşağıda verilecek yöntemlerden biri kullanılarak aday çapa düğümler, diğer uzaydaki aday çapa düğümler ile benzerlik eşleştirilmeye çalışılır. Bu çalışmada 5 farklı yöntem önerilmiş ve test edilmiştir.

- 1) 2li Benzerlik Yöntemi (B-1) - Sadece Düğüm Benzerlik Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi
- 2) 2li Hizalama Yöntemi (B-2) - Sosyal Ağlarda Düğüm Hizalama Yöntemi
- 3) 2li Topoloji Yöntemi (B-3)- Sadece Topolojik İlişki Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi
- 4) 2li Ağırlıklı Topoloji Yöntemi (B-4)- Ağırlıklı Topolojik İlişki Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi
- 5) 2li Hibrit Yöntemi (B-Hibrit)– Benzerlik ve Topolojik Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi

Önerilen her yöntemin testi ayrı ayrı yapılmış bu bölümün son kısmında ise yöntemler detaylı olarak karşılaştırılmıştır.

1. Her deneyin yapılabilmesi için en az 60 adet çapa olarak eşleşebilir gerçek düğüm olması gerekmektedir.

2. Her deneyin sonuçlanması için en az ikinci seviye arkadaşların toplanması gerekmektedir.

3. İki düğümün karşılaştırılabilmesi için en az 4 özniteliğin ortak olarak yer alması gerekmektedir.

Düğümler arası ilişkinin puan olarak hesaplandığı yöntemler için bir etkileşim puan belirleme süreci önerilmiştir. Etkileşim yoğunluk puanı sosyal ağ bazında yapılan testler sonucunda normalize edilmiş ve 1 ile 2 arasında sınırlandırılmış puandır. Sadece düğümün topolojik uzaklık hesaplarında diğer düğüme gitmek için geçtiği düğümler için ağırlıklandırılmış metotlarda kullanılır. Sosyal ağlar için her bağlantının aynı uzaklıkta olduğunu söylemek mümkün değildir. Bundan dolayı ağırlıklandırılmış yöntemlerde kullanıcıların ilişkilerinin yoğun olduğu kullanıcılara daha yakın olduğunu görülür. Bu bağlamda önerilen yöntem her sosyal ağ için her bağlantı ile ortalama ilişki sayısını çıkarmakta ve 2 düğüm arasındaki ilişkiyi bu sayıya göre orantılanmakta ve normalleştirilerek 1 ile 2 arasında puan vermektedir. Ortalamayı bozduğu düşünülen ve çok sık görüşüldüğü öngörülen az sayıda kişi için filtre uygulanmakta ve ortalama hesaplanırken çok sık görüşülen bu kişiler hesaplama alınmamaktadır. Sosyal ağların yıllar içinde değişen oranda kullanım şekillerinden dolayı her sosyal ağ için uygulanan ortalama hesaplama yönteminin belli aralıklarla tekrar çalıştırılıp tekrar hesaplama yapılması gerekmektedir.

Önerilen Yöntemler

Dokuz farklı sosyal ağda ondan fazla öznitelik kullanıldığı için birden fazla yöntemin önerilmesi zorunluluğu doğmuştur. Önerilen dokuz yöntemden biri basitleştirilmiş başlangıç noktası test yöntemidir. Bu yöntemde sadece başlangıç noktasındaki değişimin başarı oranına etkisi ölçülmüştür. İki sosyal ağ için 5 yöntem ve ikiden fazla sosyal ağın kullanılacağı durumlar için 3 tane olmak üzere 8 tane de sosyal ağlarda aynı kişiyi tespit etmek için

yöntemler önerilmiştir. İkili sosyal ağlar için önerilen beş yöntemin ilk dördü, beşinci yöntemin (B-Hibrit) hazırlayıcısı niteliğindedir. Dört yöntemin derlenmesinden oluşan yöntem beşinci yöntem olarak sunulmuştur. İkili sosyal ağlar için kullanılan 5 yöntem temel alınarak hazırlanmıştır.

2li Benzerlik Yöntemi (B-1)- Sadece Düğüm Benzerlik Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi

Sosyal ağlarda aynı kullanıcıları bulmak için de düğümler arası benzerlik ilişkisine bakmak önemli bir kriterdir. Birçok düğüm benzerlik yöntemi mevcuttur. Bu önerilen yöntem düğümlerin özniteliklerine odaklandığı için vektörel benzerlik yaklaşımını temel almaktadır. Böylece birçok özneliğin bağımsız olarak vektörel benzerliği değerlendirilebilir. Bu durum aşağıda formülize edilmiştir.

$$f_{2lib}(x) = \sum_{\text{Öznitelikler}} b(x) * \frac{U(a,b)}{1 - \frac{d_T}{s_d}} \quad (1)$$

$f_{2lib}(x)$ ikili benzerlik değerini gösterirken, $b(x)$ iki düğüm arası seçilen özellik için benzerlik oranını temsil etmektedir. $U(x, y)$ X ve Y düğümleri arasındaki uzaklığı ifade eder. tüm uzaydaki iki düğüm arası uzunlukların toplamını verirken, ise düğüm sayısını ifade eder.

Seçilen ve karşılaştırılacak kullanıcılar arasında öznitelik değerlerinden biri her iki kullanıcıda da tanımlı değilse o öznitelik hesaba katılmaz. Öznitelik bazında uygulanan yöntemler Tablo 3'da gösterilmiştir.

Tablo 3. Öznitelik Bazında Uygulanan Yöntemler

Öznitelik	Uygulanan Yöntem
Kullanıcı İsmi	N-Gram Benzerlik Yöntemi
Lokasyon	Öklid Lokasyon Benzerlik Yöntemi
Kullanılan Dil	SimRank
Aktif Saat	Keşisim Yöntemi

Dilimi

İlgi Alanı Word N-Gram Benzerlik Etiketleri Yöntemi

Kişisel Bilgi TF-IDF

Bu çalışmada, öznitelik 1 puan ile puanlandırıldı. Bundan dolayı tüm öznitelik benzerlik yöntemleri sonuçları en düşük 0 en yüksek 1 olacak şekilde düzenlendi. Her düğüm kendisi dışındaki tüm aday düğümler ile anlatılan hesaplama yapılarak eşik değeri üstündeki düğümler çapa düğüm olarak eşleştirilerek düğüm çiftleri birleştirilmiştir.

2li Hizalama Yöntemi (B-2)- Sosyal Ağlarda Düğüm Hizalama Yöntemi

Düğümlerin iki boyutlu bir uzay üzerinde birbiri ile ilişkilerini gösteren grafa iki boyutlu düğüm uzayı diyoruz. Düğümler, uzaylar üzerinde özniteliklerinin birbirine benzer olmasına ve birbiri ile ilişkilerinin yakın olmasına göre dizilirler. Düğümlerin birbiri ile ilişkili olanların komşu olarak gösterilmesi, benzer olanların ise yakın olarak gösterilmesi beklenir. Kullanıcılar farklı sosyal ağlarda farklı şekillerde davrandıkları için birden fazla sosyal ağdaki tüm düğümlerin aynı düzlem üzerinde tamamen aynı noktalarda olması beklenmemektedir. İki uzay üzerinde çapa düğümler birbiri ile ilişkilendirdikten sonra çapa düğümün etrafında kalan diğer düğümlerin çapa düğümlere uygun şekilde yayılmasına düğüm hizalama denir. Bu işlemin uygulanma adımları Şekil 1'de bulunan kabakod'da verilmiştir.

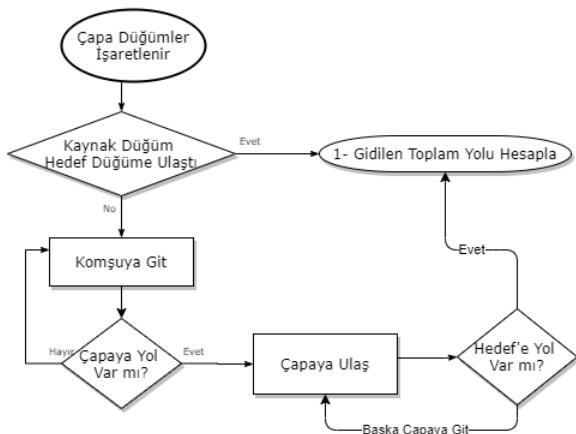
```
while(hizalama>esik degeri)
for each i in tum_dugumler.size
if (tum_dugumler[i].x > capa.x (and) tum_dugumler[i].y >
capa.y)
tum_dugumler.[i].x++; tum_dugumler[i].y++
else if(tum_dugumler.[i].x > capa.x (and) tum_dugumler.[i].y <
capa.y)
tum_dugumler.get[i].y--
else if(tum_dugumler[i].x < capa.x (and) tum_dugumler[i].y >
capa.y)
tum_dugumler[i].x--;
end
end
```

Şekil 1. 2li Hizalama Sözde Kod Örneği

Örnek olarak, her iki uzayda da bulunan A noktaları bir çapa ile birbirine tutturulsun. A noktası ile B noktası arasında Uzay 1’de 2 eleman, Uzay 2 de ise 5 eleman olsun. Her iki uzaydaki B noktaları da çapa olarak tespit edildiği anda A ve B düğümleri arasında 2 eleman olan uzay 5 eleman olan uzaya benzemek için genişleyecektir. Bunun nedeni her iki uzaydaki B’ler birbiri ile ilişkilendirilerek Uzay 1’deki B, Uzay 2’deki B hizasına çekilecektir. Bu süreçte B’ye yakın olan tüm düğümlerin de orantılı olarak kayması beklenir.

2li Topoloji Yöntemi (B-3)- Sadece Topolojik İlişki Tabanlı Düğüm Eşleştirme Yöntemi

Tek başına düğüm hizalama aynı kullanıcılara ait hesapları bulmak için doğru bir yöntem olarak kullanılmamaktadır. Bunun nedeni, uzayların graf şeklinde dağıtıldıktan sonra tek çapa düğüm ile bağlandığı durumlarda aynı yere hizalanan 2 düğümün farklı kişiler olabileceği gerçeğidir. Sosyal ağlarda benzerlik bulunurken sadece düğümün benzerliğine veya sadece topolojiye bakmak eksik bir yöntem olarak kabul edilebilir. Düğüm benzerliği ile birlikte ağın topolojisi ve sunduğu ilişki grafiğine bakılarak da yapılan bir düğüm benzerlik yöntemi daha doğru sonuç verecektir. Bu yöntemin akış diagramı Şekil 2’te sunulmuştur.



Şekil 2. 2’li Ağırlıklandırılmış Topoloji Yöntemi Akış Diagramı

Böylece ilişkisi çok kuvvetli düğüm üzerinden geçerken yakınlık puanı yüksek iken, ilişkisi çok zayıf olan düğüm üzerinden geçtiğinde daha düşük bir puan alacaktır. Böylece puanlandırma işlemleri iki düğüm arasındaki etkileşim yoğunluğuna göre hesaplanmıştır.

2li Hibrit Yöntemi (B-Hibrit)- Hibrit Düğüm Eşleştirme Yöntemi

Bu yöntem ‘2li Benzerlik’ ve ‘2li Topoloji’ yöntemlerinin birleştirilmiş bir versiyonudur. ‘2li Benzerlik’ ve ‘2li Topoloji’ yöntemlerine ek olarak bir normalleştirme fonksiyonu ile uygulanan yöntemlerden gelen sonuçların doğru şekilde birleşmesi sağlanmıştır. Bu yöntem, 2li Benzerlik’ yöntemini sayesinde değerlendirilen ve eşik değerinin üstünde yakınlık sağlayan düğümlerin bir listeye eklenmesi ile başlanır. Listedeki düğümler ‘2li Topoloji’ yöntemine göre uzaklıkları tespit edilip puanlarına eklenir. Normalleştirme yapılırken hem benzerlik puanı hem de topolojik puanı birleştirerek yeni puan ortaya çıkartılır. Benzerlikten ve topolojik puandan gelen iki değer ortalama alınarak eşik değeri geçmesi beklenir. Bu normalleştirme ile eğer benzerlik değeri eşik puanın yarısını geçememişse veya topolojik yakınlık puanı yarım puanı geçememişse ne kadar benzer veya yakın olursa olsun eşleşme sağlanmayacaktır. Bu ölçüt aşağıdaki şekilde formülize edilir.

$$f(x) = \sum_{\text{ÇAD}_S} \sum_{\text{AÇD}_S} Z(f_{2\text{lib}}(x, y), d(x, y)) \quad (2)$$

AÇD_S seçilen düğümün aday çapa düğümlerin listesini, $d(x, y)$ ise tüm çapa aday düğümleri listesini, z ise düğümler arası uzunluğu gösterir.

Bu yöntem bazı düğümleri tespit edemeyebilirken kesinlik açısından güvenilir bir yol izlemektedir. Her uzay değişiminde topolojik hesaplama tekrar yapılır ve yapıldıktan sonra benzer olan ama topolojik puanı yeterli olmayan düğümler yeni oluşan çapa düğümlerin üzerinden geçebilir ve aday düğümler ile aralarındaki puan değişebilir. Her değişimde ağda oluşan yeni bağlantılardan dolayı topolojik puan sabit kalmayacak ve yükselecektir. İki düğüm arası benzerlik puanı ise hep aynı

kalarak güven değerini oluşturmaktadır. Bu yöntemde topolojik puan sürekli değişeceği için bir son çapa ekleme sınırı koyulması gerekmektedir. Yapılan testlerde fazla iterasyonun hatalı değerler ortaya çıkarmadığı ama zaman kaybına yol açtığı görülmüştür. Bundan dolayı iterasyon sayısı düğüm sayısının $\log(n)$ karşılığı olarak belirlenmiştir. Üst limit $\log(n)$ olsa bile eğer son iterasyonda değişiklik olmamışsa ağ değişmeyeceği için iterasyon sonlanır ve sonuç kesinleşir. Önerilen yöntem bu çalışma dışındaki yöntemler ile karşılaştırılacaktır.

Deneysel Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde önerilen bir ilkel ve sekiz gelişmiş yöntem teste tabi tutulmuştur. Çalışmada önerilen yöntemler ile aynı işi yapan muadil bir algoritma olmadığı için tüm yönleri ile başka bir yöntem ile test edilememiştir. Sadece tek uzayda topolojik hizalama ve geçişlilik ile ilişki bulma metotları önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Diğer tüm önerilen yöntemler testi, test kümelerinin manuel olarak gönüllüler tarafından işaretlenmesi ile oluşturulan kontrol grubuna göre test edilmiştir.

Test Yöntemleri

Önerilen yöntemlerin çoğunda karşılaştırma için muadil bir yöntem bulunmadığından biri hariç tüm yöntemlerde başarı oranları bağlantı eksiltmeyle teste edilmiştir.

İlk olarak topolojik hizalama ve geçişlilik yöntemlerinin testi yapılmıştır. Topolojik hizalama hizalanmış iki uzayı birbiri ile karşılaştırarak, geçişlilik ise aynı geçiş yollarının bulunup bulunmadığının tespiti ile yapılır. Geçişlilik yol tespitinde mevcut önerilen yöntemlerde olmadığı için çapalama yapılmaz. İlişkiler üzerinden geçişler takip edilir. Bundan dolayı geçişliliğin testi yapılmış olsa da bu çalışmanın konusu olan uzay birleştirmenin testinin yapıldığı söylenemez. Topolojik hizalama ise önceki çalışmalarda özetle

ilişkilerin ağırlığı ve özellik vektörüne göre düğümlerin uzay üzerine hizalanarak dağıtımı olarak ifade edilebilir. Çalışmamız topolojik hizalama ve puanlamanın temelini oluşturduğu için bu testteki başarı oranları çalışmamız için önemlidir.

Karşılaştırma yapabilmek için çoklu sosyal ağlarda düğüm hizalama yapan yöntemlerden 3 tanesi seçilerek önerdiğimiz hizalama yöntemi ile test yapılmıştır. Karşılaştırma yapılan diğer yöntemler genelde ikili sosyal ağ kullandığı için bu çalışmada yer alan '2li Hizalama' yöntemi test için seçilmiştir. Test kümesi olarak da Instagram ve Twitter verileri kullanılmıştır. Hydras [18] yönteminde kullanılan görüntü işleme ve yüz tanıma konuları bu çalışmada yapılan testte kullanılmamıştır. Karşılaştırma için kullanılan algoritmalar ile yapılan testlerin sonuçları Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Topolojik Hizalama Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Başarı Oranları

Yöntem İsmi	A	P	R	F
2li Hizalama	0,77	0,92	0,77	0,84
Liu – Cheung [14]	0,60	0,85	0,62	0,71
Hydras [18]	0,60	0,71	0,67	0,69
Wu-Chien [25]	0,60	0,78	0,58	0,67

Tablo 4'te görüldüğü gibi en iyi sonuçlar önerdiğimiz yöntem ile elde edilirken, ikinci en iyi sonuçlar Liu – Cheung yaklaşımı ile elde edilmiştir. En kötü sonuçlar ise P değeri hariç Wu-Chien'in yöntemi ile elde edilmiştir.

Çalışmamızda ilk olarak bu makalenin yazarlarından biri olan ve ilk analizde seçilen tüm sosyal ağlarda hesabı bulunan 'Ahmet Müngen' kullanıcısının hesabı temel alınarak veri toplanmaya başlanmıştır. Veri toplama işlemi daha önceki bölümlerde detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Kriterlere göre ilk kullanıcının ve o kullanıcının bağlantılarının

verileri çekilerek veri toplama işlemine başlanmıştır.

Bağlantı Eksiltme Test Yöntemi

Bağlantı eksiltme testi, graf üzerinde bilinen tüm çapalar bulunup bağlandıktan sonra çapaların bir kısmının rastgele silinmesi sonrası sistemin aynı çapayı bulmaya çalışmasıdır. Bağlantı eksiltme testlerinde düğümlerin hiçbir özelliği değiştirilmez veya silinmez. Bunun yerine ilgili çapa bağlantısı kaldırılır ve sistemden çapa bulması istenir. Bu test en güvenilir test olmakla birlikte hangi düğümlerin kaldırılacağı testin başarısı ile birebir orantılıdır. Bu testte düğüm kaldırma işlemi aynı düğümün varsa ikinci derece ve üstü uzaklıktaki düğümlerinin kaldırılması ile başlar. Böylece düğümü birebir etkileyen çapa kaldırılmadığı için düğüm bulma işlemi daha başarılı olur. Eksiltelen çapa sayısı arttıkça ise ikinci ve üstü uzaklıktaki çapalar kalmayacak ve birinci dereceden yakın çapalar eksiltilmeye başlanacaktır. Birinci dereceden eksiltelen her çapa sonucu daha çok olumsuz etkileyecektir. Karşılaştırmaların daha anlaşılır olması için bazı testler birden fazla tabloda geçmektedir. Tablo 5'te B ve C tipi yöntemler için yapılan bağlantı eksiltme testlerinin sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5. B ve C-Tipi Metotlar Bağlantı Eksiltme Testleri

Seçilen Sosyal Ağlar	Yöntem	Çıkarılan Çapa	A	P	R	F
Instagram LinkedIn	B- Hibrit	1 Adet	0,98	0,99	0,99	0,99
Instagram LinkedIn	B- Hibrit	10%	0,95	0,97	0,96	0,97
Instagram LinkedIn	B- Hibrit	20%	0,94	0,96	0,96	0,96
Instagram LinkedIn	B- Hibrit	30%	0,92	0,95	0,95	0,95
Instagram LinkedIn	B- Hibrit	40%	0,91	0,95	0,94	0,95

Tablo 5'de görüldüğü gibi değerler belirli sayıda düğümün çıkarılmasıyla elde edildiği için genel olarak başarı oranları yüksektir. Ayrıca bu test yapılırken tüm düğümler doğru çapalanmış ve tamamen ideal bir sistem üzerinden çıkartılarak yapıldığı için diğer testlerden daha başarılı olacağı açıktır. Ayrıca çıkarılan çapa seçimindeki kurallar da sonucun yüksek çıkmasını desteklemiştir. Tek çapa çıkarıldığında çok büyük oranda doğru bulurken çıkarılan çapa sayısı arttıkça başarı oranının düştüğü görülmüştür. Buna karşın %40'ı çıkarılsa bile başarı oranının yüksek olduğu görülmüştür.

Çapa Düğüm Bulma Testleri

Bu testte bazı çapa kullanıcıları tamamen her iki uzaydan kaldırılmıştır. Önerilen yöntem çalıştırılarak çıkartılan çapa düğüm dışında aynı sonuca ulaşip ulaşılmadığı tespit edilmiştir. Bu yöntem uygulanırken tespit edilen tüm çapaların en fazla yarısı çapalanır diğer yarısı serbest bırakılır. Bu test için sosyal ağlar kombinasyonlu olarak seçilip veri setine dönüştürülerek kısmi veri setleri oluşturulmuştur. Önerilen ikili kombinasyonlu veri setleri için 'B-Hibrit' yöntemi kullanılarak yöntemlerin sosyal ağlar bazında başarı oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda seçilen veri tabanının sayısının genel başarıya oranı da hesaplanmıştır.

Bu testler yapılırken farklı veri tabanları birleştirilerek veri setlerine dönüştürülmüş ve veri seti üzerinde bir kullanıcı çapalanarak çapa başlangıç durumu belirlenmiştir. Bu adımdan sonra çapa bulma yöntemi çalıştırılıp test sonuçları kaydedilmiştir. Tablo 6'da yapılan testlerden bazı sonuçlar paylaşılmıştır.

Tablo 6. Örnek Test Sonuçları

Sosyal Ağ Kombinasyonu	A	P	R	F
Instagram LinkedIn	0,900	0,957	0,938	0,947
LinkedIn Twitter	0,900	0,967	0,927	0,947

About.me ile Çapa Kaldırma

About.me Ekim 2009'da kurulan kişisel profil listeleme hizmetidir. Site, kayıtlı kullanıcılara birden fazla çevrimiçi sosyal ağ bilgisini ve Facebook, Flickr, Google+, Pinterest, LinkedIn, Twitter, Tumblr ve YouTube gibi popüler sosyal ağ web sitelerindeki kendi profillerini bağlamak için basit bir platform sunmaktadır. Özelleştirilebilir arka plan görüntüsü ve kısaltılmış biyografiye sahip tek sayfalık kullanıcı profilleri ile de hizmet sunmaktadır. About.me profil görüntüleme ve profil incelemeleri alanında daha önce de farklı akademik çalışmalarda [26][27] kullanılmıştır.

Tablo 7. About.me Profil Bulma Testleri

Sosyal Ağ	Düğüm Tipi	A	P	R	F
Twitter - Instagram	Tek Çıkarılan Ana	0,	0,	0,	0,
	Çapa Düğüm Bulma	95	98	97	97
Twitter – LinkedIn	Tek Çıkarılan Ana	0,	0,	0,	0,
	Çapa Düğüm Bulma	94	99	95	97
Twitter- Flickr	Tek Çıkarılan Ana	0,	0,	0,	0,
	Çapa Düğüm Bulma	90	96	94	95
Instagram - LinkedIn	Tek Çıkarılan Ana	0,	0,	0,	0,
	Çapa Düğüm Bulma	96	97	99	98
Twitter – Instagram	Serbest Çevre Düğüm	0,	0,	0,	0,
	Bulma	79	84	90	87
Twitter – LinkedIn	Serbest Çevre Düğüm	0,	0,	0,	0,
	Bulma	73	84	83	84
Twitter- Flickr	Serbest Çevre Düğüm	0,	0,	0,	0,
	Bulma	77	81	91	86
Instagram - LinkedIn	Serbest Çevre Düğüm	0,	0,	0,	0,
	Bulma	80	82	87	85

Toplanan profiller arasında açık profili olan 2.879 kullanıcı teste tabi tutulmuştur. Daha önceki bölümlerde bahsedilen ve 'Ahmet Müngen'in profili çevresinde kurgulanan test kümesi buraya uygun olmadığı için yine 2.879 kullanıcının her biri ve çevresi için tekrar veri toplama işlemi yapılmıştır. Böylece kullanıcının Twitter arkadaşları ile Facebook arkadaşları eşleştirilmeye çalışılmıştır. Bu testin sonucu manuel kontrol ile tespit edilmiştir. Manuel

kontrol sonrası onaylanan yeni çapa düğümlerden sonra about.me profili olan açık profilli kullanıcıların çapaları kaldırılmış ve sistem teste tabi tutulmuştur. Bu test ile önerilen yöntemin sadece Türkiye'den Türkçe konuşan kullanıcılarda değil tüm dünyadaki kullanıcılarda başarı ile çalıştığını ortaya koymuştur.

Tablo 7 'Serbest Çevre Düğüm Bulma' işlemi ile çapa düğüm seçildikten sonra kullanıcının iki farklı sosyal ağda arkadaşları arasında düğüm bulma uygulamasının sonuçlarını göstermektedir. 'Tek Çıkarılan Ana Çapa Düğüm Bulma' işlemi ise çevre düğümler bulunup çapalandıktan sonra ana düğümün çıkarılıp test yapılması işlemidir. 'Tek Çıkarılan Ana Çapa Düğüm Bulma' işlemi sırasında çıkartılan ana düğümün etrafında referans olabilecek çok sayıda çapa düğüm olduğu için bu profilin bulunma oranı çok yüksektir.

Profil bulma oranlarının sosyal ağ sayısı arttıkça arttığı görülmektedir. Ayrıca LinkedIn sosyal ağının içerdiği testlerde diğer sosyal ağlara göre kısmen daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni LinkedIn profillerindeki bilgilerin diğer sosyal ağlara göre daha özenli / güncel ve güvenilir olmasıdır.

Yöntemlerin Kendi Aralarında Değerlendirme Sonuçları

Önerilen tüm yöntemler kendi aralarında da başarı değerlendirmesine tabi tutulmuşlardır. Bu testlerin amacı yöntemleri kendi içinde de değerlendirmek ve eklenen yeni özelliklerin yöntemlerin başarı değerleri üzerinde ne kadar etkili olduğunu tespit etmektedir. Aday Çapa yöntemi diğer yöntemlerden çok farklı olduğu için bu teste tabi tutulmamıştır. Testler Instagram – Twitter veri kümesi içerisinde yapılmıştır. Test sonuçlarının değerlendirmesinin objektif olması için her test için 100 adet düğümün var olduğu Instagram – Twitter verilerinden oluşan bir veri kümesi hazırlanmıştır. Yapılan testler ile ilgili sonuçlar Tablo 8'da verilmiştir.

İkili Sosyal Ağ Değerlendirme Sonuçları

Tablo 9 dokuz adet sosyal ağın B-Hibrit yöntemi ile ikili kombinasyonlarının sistem üzerinden yapılan testlerin sonuçlarını içermektedir. Burada ikili kombinasyonlardan otuz altı farklı seçenek için test yapılmış ve test sonuçları detaylı şekilde verilmiştir.

Tablo 8. Önerilen Yöntemlerin Kendi Aralarında Karşılaştırma Değerleri

Önerilen Yöntem / Değerlendirme Yöntemi	A	P	R	F
B- Benzerlik	0,72	0,94	0,67	0,78
B- Hizalama	0,77	0,92	0,77	0,84
B- Topoloji	0,78	0,86	0,84	0,85
B- Ağırlıklı Topoloji	0,81	0,90	0,86	0,88
B Hibrit	0,86	0,93	0,91	0,92

Tablo 9. İkili Sosyal Ağlar için B-Hibrit Deney Sonuçları

Sosyal Ağ Kombinasyonu	A	P	R	F
Instagram LinkedIn	0,90	0,95	0,93	0,94
LinkedIn Meetup	0,87	0,94	0,91	0,93
Instagram Twitter	0,86	0,93	0,91	0,92
Flickr LinkedIn	0,86	0,91	0,91	0,91
Instagram Meetup	0,85	0,92	0,91	0,91
LinkedIn Pinterest	0,83	0,89	0,90	0,90
Foursquare Twitter	0,82	0,91	0,87	0,89

Tablo 9’de 36 sonuçtan en başarılı 10 sonuç paylaşılmıştır. Bu tabloda LinkedIn ve Instagram sosyal ağlarının düğüm tespitinde en başarılı ağlar olduğu bunu nedeninin de

verilerinin diğer sosyal ağlara göre daha ayırt edici ve daha doğru olmasıdır. Twitter ise algoritmaya en çok başarı sağlayan üçüncü sosyal ağ olmuştur.

Sonuç

Bu çalışmada düğüm benzerlik ve hizalama yöntemleri ile ilgili özgün, kapsayıcı ve başarılı bir yöntem dizisi önerilmiştir. Önerilen bu bir dizi yöntem ile farklı öznelik ve farklı özellikleri olan birçok sosyal ağ üzerinde düğüm benzerliği ve hizalama çalışılabilecektir. Ayrıca çalışmanın mevcut yöntemlere sunduğu farklı yaklaşımlar ile de düğüm hizalama konusunda özgün bir hesaplama yöntemi önerilmiştir. Çalışma sonucunda çoklu sosyal ağlardaki verilerin tek bir uzayda birleştirilebildiği gösterilmiştir. Böylece sosyal ağlarda çalışan neredeyse tüm algoritma ve yöntemlerin başarısını arttırabilecek çoklu sosyal ağın kullanımının önü açılmıştır.

Farklı amaçlar için kullanılan ve farklı kategorilerde değerlendirilen dokuz farklı sosyal ağdan toplanan verilerde öznelik analizi ve karşılaştırması ile hangi özneliklerin eşleştirilebileceği ve sosyal ağların diğer sosyal ağlar ile uyumu gibi analizler ve sonuçlar sunulmuştur. Oluşturulan veri seti çok çeşitli sosyal ağları kapsadığı için daha sonraki araştırmacıların da kullanabilecekleri ortak bir veri kümesi oluşturulması sağlanmıştır.

Sonraki çalışmalarda bu çalışmada ele alınmayan diğer özneliklerin de kullanımı ile daha gelişmiş bir model önerilebilir. Yıllar içinde insanların kendilerini tanımlama süreci, ilgi alanları ve sosyal ağı kullanım biçimi değişeceği için sosyal ağların evrimleşmesi ve kullanıcıların hareketlerinin zaman içindeki değişimi de ele alınarak benzerlik ve hizalama algoritma önermeleri yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 119E309 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] J. Du, C. Jiang, K. C. Chen, Y. Ren, and H. V. Poor, "Community-structured evolutionary game for privacy protection in social networks," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 13, no. 3, pp. 574–589, Mar. 2018, doi: 10.1109/TIFS.2017.2758756.
- [2] D. Koutra, H. Tong, and D. Lubensky, "Big-Align: Fast bipartite graph alignment," in *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM, 2013*, doi: 10.1109/ICDM.2013.152.
- [3] L. Adamic and E. Adar, "How to search a social network," *Soc. Networks*, 2005, doi: 10.1016/j.socnet.2005.01.007.
- [4] J. Jaccard, *Interaction Effects in Logistic Regression*. 2011.
- [5] B. Aleman-Meza et al., "Semantic analytics on social networks: Experiences in addressing the problem of conflict of interest detection," in *Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web, 2006*, doi: 10.1145/1135777.1135838.
- [6] V. D. Blondel, A. Gajardo, M. Heymans, P. Senellart, and P. Van Dooren, "A measure of similarity between graph vertices: Applications to synonym extraction and web searching," *SIAM Rev.*, 2004, doi: 10.1137/S0036144502415960.
- [7] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, and R. L. Rivest, *Introduction to Algorithms*, Second Edition. 2001.
- [8] B. Cai, H. Wang, H. Zheng, and H. Wang, "An improved random walk based clustering algorithm for community detection in complex networks," in *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2011*, pp. 2162–2167, doi: 10.1109/ICSMC.2011.6083997.
- [9] F. Fous, A. Pirotte, J. M. Renders, and M. Saerens, "Random-walk computation of similarities between nodes of a graph with application to collaborative recommendation," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 2007, doi: 10.1109/TKDE.2007.46.
- [10] P. Symeonidis and E. Tiakas, "Transitive node similarity: Predicting and recommending links in signed social networks," *World Wide Web*, vol. 17, no. 4, pp. 743–776, Jun. 2014, doi: 10.1007/s11280-013-0228-2.
- [11] G. Jeh and J. Widom, "SimRank: A measure of structural-context similarity," in *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2002*.
- [12] A. Clauset, C. Moore, and M. E. J. Newman, "Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks," *Nature*, vol. 453, no. 7191, pp. 98–101, 2008, doi: 10.1038/nature06830.
- [13] K. Musiał and P. Kazienko, "Social networks on the Internet," *World Wide Web*, 2013, doi: 10.1007/s11280-011-0155-z.
- [14] L. Liu, W. K. Cheung, X. Li, and L. Liao, "Aligning users across social networks using network embedding," in *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2016*.
- [15] Y. Dong et al., "Link prediction and recommendation across heterogeneous social networks," in *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM, 2012*, doi: 10.1109/ICDM.2012.140.
- [16] L. Hu, J. Cao, G. Xu, L. Cao, Z. Gu, and C. Zhu, "Personalized recommendation via Cross-Domain Triadic Factorization," in *WWW 2013 - Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web, 2013*, doi: 10.1145/2488388.2488441.
- [17] J. Liu, F. Zhang, X. Song, Y.-I. Song, C.-Y. Lin, and H.-W. Hon, "What's in a Name? An Unsupervised Approach to Link Users across Communities *," Feb. 2013.
- [18] S. Liu, S. Wang, F. Zhu, J. Zhang, and R. Krishnan, "HYDRA: large-scale social identity linkage via heterogeneous behavior modeling," in *Proceedings of the 2014 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '14, 2014*, doi: 10.1145/2588555.2588559.
- [19] J. Zhang and P. S. Yu, "Integrated anchor and social link predictions across social networks," in *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2015*.
- [20] S. Tan, Z. Guan, D. Cai, X. Qin, J. Bu, and C. Chen, "Mapping Users across Networks by Manifold Alignment on Hypergraph," *28th AAAI Conf. Artif. Intell.*, 2014.
- [21] A. A. Mungen, A. Geckil, and M. Kaya, "Social Network Attribute Analysis Method for Node Alignment Process," *Jan. 2020*, pp. 1–4, doi: 10.1109/ubmyk48245.2019.8965616.
- [22] S. Zhang and H. Tong, "Attributed Network Alignment: Problem Definitions and Fast Solutions," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 2018, doi: 10.1109/TKDE.2018.2866440.
- [23] H. T. Trung, T. Van Vinh, N. T. Tam, H. Yin, M. Weidlich, and N. Q. Viet Hung, "Adaptive network alignment with unsupervised and multi-order convolutional networks," *2020*, doi: 10.1109/ICDE48307.2020.00015.
- [24] Q. Zhan, J. Zhang, and P. S. Yu, "Integrated anchor and social link predictions across multiple social networks," *Knowl. Inf. Syst.*, 2019, doi: 10.1007/s10115-018-1210-1..
- [25] S. H. Wu, H. H. Chien, K. H. Lin, and P. S. Yu, "Learning the consistent behavior of common users for target node prediction across social networks," in *31st International Conference on Machine Learning, ICML 2014, 2014*.
- [26] M. Wang, Q. Tan, X. Wang, and J. Shi, "De-anonymizing social networks user via profile similarity," in *Proceedings - 2018 IEEE 3rd International Conference on Data Science in Cyberspace, DSC 2018, Jul. 2018*, pp. 889–895, doi: 10.1109/DSC.2018.00142.
- [27] M. M. Rahman, "Intellectual knowledge extraction from online social data," in *2012 International Conference on Informatics, Electronics and Vision, ICIEV 2012, 2012*, pp. 205–210, doi: 10.1109/ICIEV.2012.6317392.

Gauss ve Laplace Gürültülü Kanallar Arasında Optimal Anahtarlama

Optimal Channel Switching between Gauss and Laplace Channels

M. Emin Tutay¹

¹Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, emin.tutay@dicle.edu.tr ORCID:0000-0002-1506-0028

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 10 Temmuz 2020
Düzeltilme: 7 Eylül 2020
Kabul: 10 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Kanal anahtarlama, ortalama hata olasılığı, Gauss kanalı, Laplace kanalı

ÖZET

Bu çalışmada, verici ve alıcı arasında Gauss ve Laplace haberleşme kanalları bulunan ikili iletişim sistemleri çalışılmaktadır. Ortalama güç kısıtlaması altında, ortalama hata olasılığını en küçülten stratejinin araştırılması amaçlanmaktadır. Öncelikle, optimal stratejinin sunulan eniyileme probleminin çözümü şeklinde olduğu gösterilmektedir. Daha sonra, kanal anahtarlamanın sistem performansını ortalama hata olasılığı açısından iyileştiremeyeceği koşul elde edilmektedir. Bu durumda, optimal çözümün herhangi güç kısıtlaması altında Gauss kanalı üzerinden iletim şeklinde olduğu gösterilmektedir. Koşulun sağlanmadığı durumda ise optimal strateji, eniyileme probleminin çözümü ile belirlenmektedir. Son olarak, kuramsal sonuçları doğrulamak amacıyla sayısal örnekler sunulmaktadır.

Doi: 10.24012/dumf.767658

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 July 2020
Revised: 7 September 2020
Accepted: 10 September 2020

Keywords:

Channel switching, average error probability, Gauss channel, Laplace channel

ABSTRACT

In this paper, binary communication systems are studied in the presence of Gauss and Laplace channels. The objective is to investigate the optimal strategy that minimizes average error probability under the average power constraint. First, it is shown that the optimal strategy is the solution of the presented optimization problem. Then, the condition in which channel switching does not provide any further performance enhancement is obtained. In this case, it is shown that the optimal strategy is to transmit over Gauss channel for any value of the average power constraint. In the case of the condition is not satisfied, the optimal strategy is determined by the solution of the optimization problem. Finally, to corroborate theoretical results, numerical examples are presented.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Emin TUTAY
emin.tutay@dicle.edu.tr

Giriş

İletişim sistemlerinde, ortalama güç kısıtlaması altında rastgeleleştirme tekniğinin, performansı ortalama hata olasılığı açısından iyileştirebildiği literatürde çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [1-10]. Gauss olmayan gürültü dağılımları için bu yaklaşım, sistemin verici tarafında düşünülmüş ve optimal işaretleme stratejisi belirlenmiştir [1-3]. Aynı yaklaşım, iletişim sistemlerinin alıcı tarafında da ele alınmış ve optimal sezici rastgeleleştirme tekniği ile beraber bunlara karşılık gelen optimal işaretleme stratejileri çalışılmıştır [6-7].

Sistemde verici ve alıcı arasında birden çok haberleşme kanalı bulunması durumunda, rastgeleleştirme tekniği farklı haberleşme kanallarının iletişim için zaman paylaşımlı kullanılması şeklinde uygulanabilir [8-10]. Literatürde kanal anahtarlama olarak bilinen bu teknik, ilk olarak [8]'de ele alınmış, sistemin ortalama hata olasılığının kanal gürültü modellerine ve ortalama güç kısıtlamasına bağlı olarak iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Bir başka çalışmada, Gauss gürültülü kanal ile Gauss karışım gürültülü kanallar ele alınmış ve ortalama hata olasılığının iyileştirilebildiği çeşitli örnekler ile gösterilmiştir [9].

Bu çalışmada, sistemdeki toplanır gürültülü kanal modellerinin Gauss veya Laplace gürültülü kanal modelleri olduğu ikili iletişim sistemi, güç kısıtlaması altında ele alınmaktadır. İlk olarak, optimal stratejinin sunulan eniyileme probleminin formülü şeklinde olduğu gösterilmektedir. Daha sonra, Gauss gürültülü kanal ile Laplace gürültülü kanala göre asimptotik olarak daha iyi performans elde edildiği gösterilmektedir. Ayrıca, Gauss ve Laplace kanalları arasında rastgeleleştirme tek kanallı iletme göre ortalama hata olasılığını iyileştiremediği koşul elde edilmektedir. Bu durumda, ortalama güç kısıtlamasının değerinden bağımsız olarak optimal stratejinin Gauss kanalı üzerinden iletim şeklinde olduğu gösterilmektedir. Belirtilen koşulun sağlanmadığı durumda, sistemin güç kısıtlamasına bağlı olarak Gauss veya Laplace gürültülü kanalların birbirlerine göre daha iyi performans verebilecekleri

gösterilmektedir. Bu durumda, optimal strateji eniyileme probleminin çözümü ile elde edilmektedir. Son olarak, rastgeleleştirme ortalama hata olasılığını iyileştirdiği ve iyileştirmediği her iki durum için sayısal sonuçlar birer örnek ile gösterilmektedir.

Problem Tanımı

İletişim sistemlerinde, verici ve alıcı arasında anlık olarak sadece birinin kullanıldığı çoklu toplanır gürültü kanallarının mevcut olduğu durum ele alınmaktadır. Belirli bir anda, verici hangi haberleşme kanalının kullanılacağı bilgisine sahip olup, bu kanala karşılık gelen yıldız kümesine (signal constellation) göre iletimi gerçekleştirmektedir.

Kanal gürültülerinin, Gauss veya Laplace dağılımına sahip gürültüler olduğu ikili iletişim sistemleri düşünülmektedir. Gürültü dağılımları Gauss ve Laplace ile modellenen kanal sayıları, sırasıyla K_G ve K_L ile gösterilmektedir. Burada, K_G adet Gauss kanalı değişinti (varyans) değerleri açısından farklılık göstermektedir. Benzer bir şekilde K_L adet Laplace kanalı da değişinti değerleri açısından farklılık göstermektedir. Ayrıca, "0" ve "1" sembollerine karşılık gelen önsel olasılıkların eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda, en iyi performansı verdiğinden alıcıda maksimum olabilirlik (ML) kurallı sezici kullanılmaktadır [11-12].

Bu çalışmada amaç, ortalama güç kısıtlaması altında ortalama hata olasılığını minimize eden stratejiyi bulmaktır. Mevcut kanal sayısından bağımsız olarak, optimal stratejinin en çok iki kanal üzerinden zaman paylaşımı şeklinde olduğu [4,8,10] çalışmalarındakine benzer yaklaşımlarla ispat edilebilir. Ayrıca, ortalama hata olasılığı Gauss ve Laplace kanalları için tekdüze, azalan ve dışbükey fonksiyonlar olduğundan optimal strateji için en düşük değışintili Gauss ve Laplace kanalları dışındakilerin kullanılmayacağı açıktır.

Matematiksel olarak ifade edilecek olursa, $U = \{\alpha, P_G, P_L\}$ eniyileme uzayı iken, aşağıda belirtilen eniyileme probleminin çözümü optimal stratejiyi belirleyecektir.

$$\begin{aligned} & \min_U \alpha e_G(P_G) + (1-\alpha)e_L(P_L) \\ & \text{öyle ki } \alpha P_G + (1-\alpha)P_L \leq P_{avg} \\ & 0 \leq \alpha \leq 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada P_G ve P_L sırasıyla Gauss ve Laplace kanalları üzerinden yapılan iletim için harcanan ortalama gücü gösterirken $e_G(P_G)$ ve $e_L(P_L)$ buna karşılık elde edilen ortalama hata olasılıklarını göstermektedir. Sistem için ortalama güç kısıtlaması P_{avg} ile belirtilmektedir.

Ayrıca, α iletim için Gauss kanalının kullanılma oranını gösteren değişken (kanal anahtarlama oranı) olarak, tanımlanmaktadır. Örnek olarak, $\alpha = 0.2$ değeri zamanın %20'sinde Gauss kanalı üzerinden iletim yapıldığı, %80'inde ise Laplace kanalı üzerinden iletim yapıldığı anlamını taşımaktadır.

Mevcut gürültü dağılımları ve eşit önsel olasılıklar dikkate alındığında, "0" ve "1" bitleri için S_0 ve S_1 işaret değerlerini göstermek üzere, işaret değerleri $S_1 = -S_0$ olarak seçileceğinden, denklem (1)'deki ortalama hata olasılıkları iletim için harcanan ortalama gücün fonksiyonu olarak belirtilmektedir.

Denklem (1) incelendiğinde, optimal stratejinin aşağıda belirtilen yöntemlerden biri şeklinde olduğu görülmektedir:

- Gauss kanalı üzerinden iletim ($\alpha = 1$)
- Laplace kanalı üzerinden iletim ($\alpha = 0$)
- Gauss ve Laplace kanalları üzerinden zaman paylaşımı şeklinde iletim ($0 < \alpha < 1$)

Optimal Strateji

Bu bölümde optimal strateji için yukarıda belirtilen yöntemler incelenmektedir. Ortalama değeri "0" olan Gauss gürültüsü için olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF)

$$f_G(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_G} e^{-\frac{n^2}{2\sigma_G^2}} \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır [13]. Burada σ_G Gauss gürültüsü için standart sapma değerini göstermektedir. Bu kanal üzerinden P_G ortalama gücü harcanarak yapılan ikili iletişim neticesinde

ortalama hata olasılığı $e_G(P_G) = Q(\sqrt{P_G}/\sigma_G)$ olarak hesaplanmaktadır [13]. Burada $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$ şeklinde tanımlanmaktadır [13].

Ortalama değeri "0" olan Laplace gürültüsü için OYF,

$$f_L(n) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_L} e^{-\frac{|n|\sqrt{2}}{\sigma_L}} \quad (3)$$

olarak verilmektedir [13]. Burada σ_L Laplace gürültüsü için standart sapmayı göstermektedir. Bu kanal üzerinden P_L ortalama gücü harcanarak elde edilen ortalama hata olasılığı $\frac{1}{2} e^{-\sqrt{2}P_L/\sigma_L}$ olarak hesaplanabilir.

Optimal stratejinin belirlenebilmesi amacıyla, iki kanalın ortalama hata olasılıkları arasındaki fark aşağıdaki fonksiyon olarak tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} e_d(p) &= e_L(p) - e_G(p) \\ &= \frac{1}{2} e^{-\frac{\sqrt{2}p}{\sigma_L}} - Q\left(\frac{\sqrt{p}}{\sigma_G}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

Türev alınacak olursa,

$$e'_d(p) = \frac{1}{2\sqrt{2}p} \left[\frac{e^{-p/2\sigma_G^2}}{\sigma_G\sqrt{\pi}} - \frac{e^{-\sqrt{2}p/\sigma_L}}{\sigma_L} \right] \quad (5)$$

eşitliği elde edilmektedir.

Lemma 1: Gauss ve Laplace kanallarının ortalama hata olasılıkları için, aşağıda verilen eşitsizlik geçerlidir:

$$e_G(p) < e_L(p) \quad \forall p \in \left(\frac{8\sigma_G^4}{\sigma_L^2}, \infty\right) \quad (6)$$

İspat: Kanalların ortalama hata olasılık performansları için aşağıdaki eşitsizlikler geçerlidir:

$$e_G(p) \stackrel{(1)}{\leq} \frac{1}{2} e^{-\frac{p}{2\sigma_G^2}} \stackrel{(2)}{<} \frac{1}{2} e^{-\frac{\sqrt{2}p}{\sigma_L}} = e_L(p) \quad (7)$$

Burada, eşitsizlik (1), $Q(\cdot)$ fonksiyonu için geçerli olan $Q(x) \leq 0.5e^{-\frac{x^2}{2}}$ eşitsizliğinden dolayı

geçerlidir [14]. Eşitsizlik (2) ise önermede belirtilen $p > 8\sigma_G^4 / \sigma_L^2$ koşuluna dayanmaktadır.

Lemma 1, güç seviyesinin belirli bir sınırın üstünde olması durumunda Gauss kanalı ile Laplace kanalına göre daima daha düşük ortalama hata olasılığının elde edildiğini ifade etmektedir. Belirtilen neticenin geçerli olması, güç için her iki kanalın değişimleri ile belirlenen bir alt sınırı gerektirmektedir.

Önerme 1: Gauss ve Laplace kanal gürültülerinin standart sapma değerleri $\sigma_L \geq \sigma_G \sqrt{\pi}$ eşitsizliğini sağlıyorsa, denklem (1)'de tanımlanan problem için optimal strateji Gauss kanalı üzerinden iletim yapmaktır.

İspat: $e_d'(p)$ fonksiyonu incelendiğinde,

$$P^* = \frac{2\sigma_G^4}{\sigma_L^2} + 2\sigma_G^2 \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right] + 4 \frac{\sigma_G^3}{\sigma_L} \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right]^{1/2} \quad (8)$$

olmak üzere, fonksiyonun $[0, P^*)$ aralığında pozitif, (P^*, ∞) aralığında ise negatif değere sahip olduğu gösterilebilir [15]. Ayrıca, Lemma 1'in sonucu dikkate alındığında, $e_d(p) > 0 \quad \forall p > 0$ sonucu elde edilmektedir. Dolayısıyla, eşit güç harcandığında Gauss kanalı daima daha iyi performans göstermektedir.

Önerme 1, kanal gürültüleri için $\sigma_L \geq \sigma_G \sqrt{\pi}$ şartı sağlandığında denklem (1)'de belirtilen eniyileme problemi için optimal çözümün Gauss kanalı üzerinden iletim şeklinde olduğunu ifade etmektedir.

Önerme 2: Kanal gürültülerinin standart sapma değerleri için $\sigma_L < \sigma_G \sqrt{\pi}$ eşitsizliği geçerli olduğunda, $e_d(p) = 0$ eşitliğini sağlayan sonlu tek bir pozitif değer (p^\dagger) olup kanal performansları arasındaki ilişki aşağıda belirtilmektedir:

$$\bullet \quad e_L(p) < e_G(p), \quad p < p^\dagger \quad (9a)$$

$$\bullet \quad e_L(p) > e_G(p), \quad p > p^\dagger \quad (9b)$$

İspat: $e_d'(p)$ fonksiyonu incelendiğinde p_1 ve p_2 ,

$$p_1 = \frac{2\sigma_G^4}{\sigma_L^2} + 2\sigma_G^2 \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right] - 4 \frac{\sigma_G^3}{\sigma_L} \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right]^{1/2} \quad (10a)$$

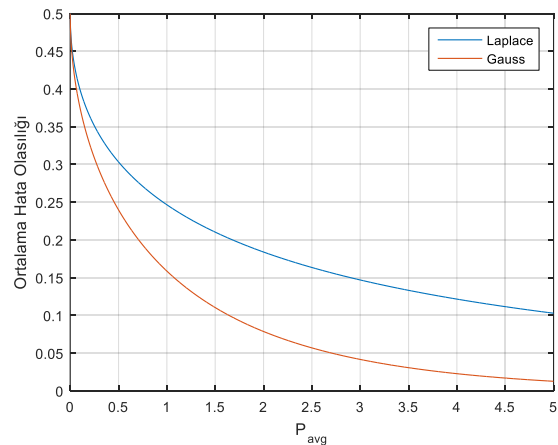
$$p_2 = \frac{2\sigma_G^4}{\sigma_L^2} + 2\sigma_G^2 \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right] + 4 \frac{\sigma_G^3}{\sigma_L} \left[\frac{\sigma_G^2}{\sigma_L^2} - \ln\left(\frac{\sigma_G \sqrt{\pi}}{\sigma_L}\right) \right]^{1/2} \quad (10b)$$

yukarıda belirtilen değişkenler olmak üzere, fonksiyonun (p_1, p_2) aralığında pozitif değer aldığı, bunun dışında ise $([0, p_1) \cup (p_2, \infty))$ negatif değer aldığı gösterilebilir [15]. $e_d(p)$, $p = 0$ için "0" değerini aldığından, $e_d(p)$ fonksiyonunu "0" yapan sonlu tek bir değer olup, $p^\dagger \in (p_1, p_2)$ olarak elde edilmektedir. Buradan, önermede belirtilen sonuçlar elde edilebilir.

Önerme 2, $\sigma_L < \sigma_G \sqrt{\pi}$ şartı sağlandığında Laplace kanalının düşük güç seviyelerinde daha iyi performansa sahip olduğunu, Gauss kanalının ise daha yüksek güç seviyelerinde daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedir. Dolayısıyla, sistemin ortalama güç kısıtlamasına bağlı olarak zaman paylaşımı şeklinde her iki kanalı kullanmanın tek kanala göre daha iyi performans gösterebileceğini ifade etmektedir. Kanal anahtarlama oranları ve harcanacak güç seviyeleri denklem (1)'de belirtilen eniyileme probleminin çözümü ile elde edilebilir.

Sayısal Sonuçlar

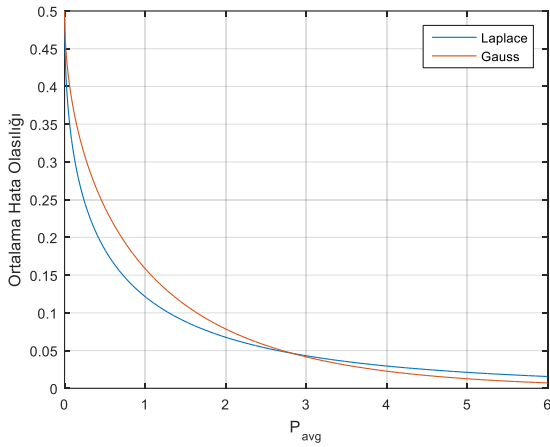
Bu bölümde denklem (1)'de verilen eniyileme problemi farklı senaryolar için çalışılmış ve optimal stratejiler belirlenmiştir. İlk olarak, standart sapma değerleri $\sigma_L = 2$ ve $\sigma_G = 1$ olan Gauss ve Laplace gürültülü kanallar seçilmiştir. Bu senaryoda ortalama hata olasılığı her iki kanal için şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Gauss ve Laplace gürültülü kanallar için ortalama hata olasılıkları ($\sigma_L = 2$ ve $\sigma_G = 1$)

Grafik incelendiğinde, bütün P_{avg} değerleri için Gauss gürültülü kanal ile daha düşük ortalama hata olasılığı elde edildiği gözlemlenmektedir. Bu durumda, optimal strateji Gauss kanalı üzerinden iletim şeklinde olmalıdır. Önerme 1’de belirtilen koşul sağlandığından, bu beklenen bir sonuçtur. Ayrıca, Lemma 1’de belirtildiği gibi belirli bir seviyenin üzerindeki ortalama güç değerleri için Gauss kanalı daha düşük ortalama hata olasılığı vermektedir.

Gauss ve Laplace gürültülü kanallar için bir diğer senaryoda, standart sapma değerleri eşit olarak ($\sigma_L = \sigma_G = 1$) seçilmiştir. Bu senaryoda, ortalama hata olasılıkları farklı güç kısıtlama değerleri için şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Gauss ve Laplace gürültülü kanallar için ortalama hata olasılıkları ($\sigma_L = 1$ ve $\sigma_G = 1$)

Grafik incelendiğinde, $P_{avg} = 2.8238$ için her iki kanal ile eşit ortalama hata olasılığı elde edildiği (0.0464) gözlemlenmektedir. Ortalama hata olasılığı açısından, daha düşük P_{avg} değerleri için Laplace gürültülü kanal daha iyi performans verirken, daha yüksek P_{avg} değerleri için Gauss gürültülü kanal daha iyi performans vermektedir.

Önerme 2’de belirtilen koşul ($\sigma_L < \sigma_G \sqrt{\pi}$) sağlandığından, Şekil 2’de gözlemlenen sonuçlar beklenen sonuçlardır. P_{avg} değerine bağlı olarak optimal strateji her iki kanalın zaman paylaşımı şeklinde kullanılabilir. Dolayısıyla, denklem (1)’de belirtilen eniyileme probleminin çözümü ile optimal strateji belirlenmektedir.

Denklem (1)’de belirtilen eniyileme probleminin çözümü farklı P_{avg} değerleri için Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Farklı P_{avg} değerleri için denklem (1)’de belirtilen eniyileme probleminin optimal çözümü

P_{avg}	α	P_G	P_L
2	0	---	2
3	0.8127	3.1141	2.5049
4	1	4	---

Tablo 1 incelendiğinde, $P_{avg} = 2$ için optimal stratejinin Laplace kanalı üzerinden $P_L = 2$ olacak şekilde iletim olduğu gözlemlenmektedir. İletim için maksimum güç seviyesinin kullanımı ($P_L = P_{avg}$), $e_L(p)$ tekdüze azalan dışbükey bir fonksiyon olduğundan beklenen bir sonuçtur.

Aynı tabloda, $P_{avg} = 4$ için optimal çözümün Gauss kanalı üzerinden maksimum güç seviyesinde iletim şeklinde olduğu görülmektedir. $e_G(p)$ tekdüze azalan dışbükey bir fonksiyon olduğundan maksimum güç seviyesinde iletim ($P_G = P_{avg}$), beklenen bir sonuçtur.

Tablodaki ilginç sonuç, $P_{avg} = 3$ durumunda gözlemlenmektedir. Bu durumda, optimal çözümün 0.8127 oranında Gauss kanalı ve 0.1873 oranında ise Laplace kanalı üzerinden iletim şeklinde olduğu gözlemlenmektedir. Gauss ve Laplace kanalları için harcanan ortalama güç seviyeleri sırasıyla 3.1141 ve 2.5049 olarak elde edilmiştir. Bu durumda, sistemin harcadığı ortalama gücün $P_{avg} = 3$ seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu strateji için elde edilen ortalama hata olasılığı, $\alpha e_G(P_G) + (1 - \alpha)e_L(P_L) = 0.0415$ olarak hesaplanmaktadır.

$P_{avg} = 3$ güç seviyesi için tek kanal üzerinden iletimin nasıl bir performans vereceği merak edilebilir. Bu durumda, $P_{avg} > p^\dagger$ olduğundan Gauss kanalı Laplace kanalına göre daha iyi performans vermektedir. Gauss kanalı üzerinden, bu güç seviyesinde iletim yapılması

durumunda ortalama hata olasılığı 0.0416 olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, zaman paylaşımlı kanal kullanımının ortalama hata olasılığını iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, Lemma 1’de belirtilmiş olduğu gibi belirli bir güç seviyesinden sonra Gauss gürültülü kanalının Laplace gürültülü kanala göre daima daha iyi performans sergilediği gözlemlenmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, verici ve alıcı arasında Gauss gürültülü ve Laplace gürültülü kanallar bulunan ikili iletişim sistemleri çalışılmıştır. Ortalama güç kısıtlaması altında, ortalama hata olasılığını en küçülten optimal stratejiler belirlenmiştir. Öncelikle, Gauss gürültülü kanal üzerinden iletimin optimal olduğu, zaman paylaşımlı kanal kullanımının önerilmediği koşul belirlenmiştir. Daha, sonra zaman paylaşımlı kanal kullanımının tek kanallı iletme göre performansı iyileştirebileceği koşul belirlenmiştir. Kuramsal sonuçları doğrulamak amacıyla sayısal örnekler sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1] C., Goken, S. Gezici, O. Arikan, “Optimal stochastic signaling for power-constrained binary communications systems”, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 12, pp. 3650-3661, Dec. 2010.
- [2] C., Goken, S. Gezici, O. Arikan, “Stochastic signaling in the presence of channel state information uncertainty”, Digital Signal Processing, vol. 23, no. 2, pp. 635-645, Mar. 2013.
- [3] H. Chen, P. K. Varshney, S. M. Kay, and J. H. Michels, “Theory of the stochastic resonance effect in signal detection: Part I—Fixed detectors,” IEEE Trans. Sig. Processing, vol. 55, pp. 3172–3184, July 2007.
- [4] H. Chen, P. K. Varshney, S. M. Kay, and J. H. Michels, “Theory of the stochastic resonance effect in signal detection: Part II—Variable detectors,” IEEE Trans. Sig. Processing, vol. 56, no. 10, pp. 5031–5041, Oct. 2007.
- [5] S. Loyka, V. Kostina, and F. Gagnon, “Error rates of the maximumlikelihood detector for arbitrary constellations: Convex/concave behavior and applications,” IEEE Trans. Information Theory, vol. 56, no. 4, pp. 1948–1960, April 2010.
- [6] B. Dulek and S. Gezici, “Detector randomization and stochastic signaling for minimum probability of error receivers,” IEEE Trans. Commun., vol. 60, no. 4, pp. 923–928, Apr. 2012
- [7] M. E. Tutay, S. Gezici, and O. Arikan, “Optimal detector randomization for multiuser communications systems,” IEEE Trans. Commun., vol. 61, pp. 2876–2889, July 2013.
- [8] M. Azizoglu, “Convexity properties in binary detection problems,” IEEE Trans. Info. Theory, vol. 42, no. 4, pp. 1316-1321, July 1996
- [9] B. Dulek, M. E. Tutay, S. Gezici, and P. K. Varshney, “Optimal signaling and detector design for M-ary communication systems in the presence of multiple additive noise channels,” Digital Signal Processing, vol. 26, pp. 153–168, Mar. 2014.
- [10] M. E. Tutay, S. Gezici, H. Soganci, and O. Arikan, “Optimal channel switching over Gaussian channels under average power and cost constraints,” IEEE Trans. Commun., vol. 63, pp. 1907–1922, May 2015.
- [11] S. Verdú, Multiuser Detection. 1st ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998.
- [12] H. V. Poor, An Introduction to Signal Detection and Estimation. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [13] A. Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering. 2nd ed. Addison, Wesley, 1994.
- [14] J. G. Proakis and M. Salehi, Communication Systems Engineering, NJ, Englewood Cliffs:Prentice-Hall, 1994.
- [15] G. B. Thomas, M. D. Weir, J. Hass, and F. R. Giordano, Thomas’ Calculus. Addison Wesley, 11 ed., 2004.



Rüzgâr türbini ile fotovoltaik modüler sistemin karşılaştırılması: Ege Üniversitesi-İzmir örneği

Levent BİLİR*

Yaşar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir

levent.bilir@yasar.edu.tr ORCID: 0000-0002-8227-6267, Tel: (232) 570 82 49

Hüseyin Günhan ÖZCAN

Yaşar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir

huseyin.ozcan@yasar.edu.tr ORCID: 0000-0002-8639-6338, Tel: (232) 570 82 93

Nurdan YILDIRIM

Yaşar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

nurdan.yildirim@yasar.edu.tr ORCID: 0000-0001-5140-6340, Tel: (232) 570 82 51

Hüseyin GÜNERHAN

Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

huseyin.gunerhan@ege.edu.tr ORCID: 0000-0003-4256-2418, Tel: (232) 311 51 25

Geliş: 16.09.2019, Revizyon: 09.03.2020, Kabul Tarihi: 22.05.2020

Öz

Bu çalışmada rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından önemli potansiyele sahip olan İzmir'de bulunan Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü binası için yaklaşık aynı kapasiteye sahip bir rüzgâr türbini (55 kW) ile fotovoltaik modüler sisteminin (54,4 kW) enerji üretimi ve ekonomik olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Makina Mühendisliği Bölümü binasının iklimlendirilmesinde klimalar kullanılmaktadır ve ele alınmış olan rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüler sisteminin bu klimaların elektrik kullanımının ne kadarını karşılayabilecekleri incelenmiştir. Her iki sistemin enerji üretimleri TRNSYS yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda Makina Mühendisliği Bölümü binasının çatısında kurulu bulunan ölçüm istasyonundan alınmış olan dakikalık rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı verileri saatlik veriye çevrilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Sonuç olarak ısıtma sezonunda fotovoltaik modüler sistemin ihtiyacın %88,85'i kadar, rüzgâr türbininin ise %72,15'i kadar elektrik üretimi gerçekleştirebileceği hesaplanmıştır. Soğutma sezonunda ise fotovoltaik modüler sistemin ihtiyacın %202,25'i, rüzgâr türbininin ise %114,45'i düzeyinde elektrik üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Fotovoltaik modüler sisteminin basit geri ödeme süresi 9,19 yıl, rüzgâr türbininin basit geri ödeme süresi ise 14,52 yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü binası için fotovoltaik modüler sisteminin kurulumunun enerji üretimi açısından ve ekonomik olarak rüzgâr türbini kurulumundan daha tercih edilir durumda olduğu görülmüştür.

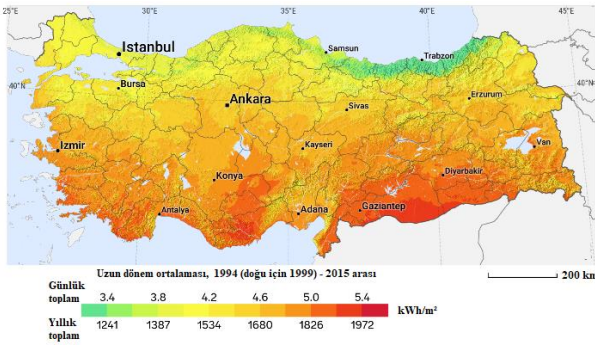
Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Türbini; Fotovoltaik Sistem; Yenilenebilir Enerji; TRNSYS Analizi; Basit Geri Ödeme Süresi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.620774

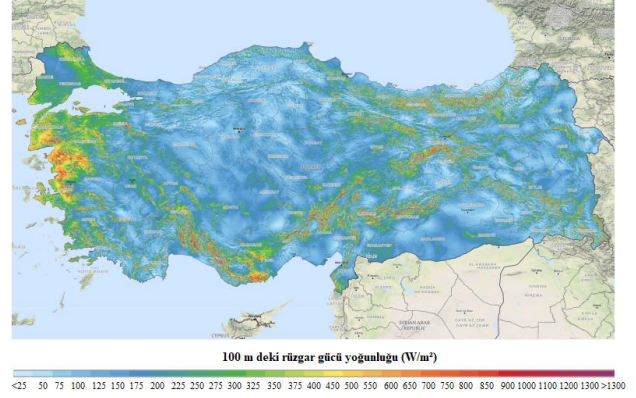
Giriş

Türkiye’de son yıllarda yenilenebilir enerji uygulamaları sıklaşmış ve özellikle rüzgâr türbinleri ile fotovoltaik sistemler konusunda yüksek yatırımlar gerçekleştirilmiştir. 2018 yılı itibariyle güneş enerjisi santral sayısı 5.868 adet, toplam kurulu güç ise 5.063 MW değerine ulaşmıştır. Bu santrallerden 2018 yılında elde edilen elektrik enerjisi 7.477,3 GWh’dır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019 (a)). 2018 yılında işletmedeki rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü ise 7.005 MW’tır ve aynı yıl bu santrallerden elde edilen elektrik enerjisi 19.882 GWh değerindedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019 (b)). Rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanımına yönelik Türkiye’de her iki yenilenebilir enerji türü için yüksek potansiyel bulunmasının sonucu olarak bu değerlerin elde edildiği görülmüştür. Türkiye geneli için ortalama güneş ışınımı 3,6 kWh/m²’dir, toplam güneşlenme süresi ise 2.160 saat/yıl olmaktadır (Melikoglu, 2016). Şekil 1’de görüldüğü üzere Türkiye’nin özellikle orta ve güney kesimlerinde bu değerler ortalamadan daha yüksek gerçekleşmekte ve güneş enerjisi yatırımlarına daha elverişli bir zemin hazırlamaktadır.



Şekil 1. Türkiye’de yatay düzleme gelen günlük ve yıllık güneş ışınımı değerleri (Global Solar Atlas, 2019)

Şekil 2 ile görülebileceği üzere rüzgâr enerjisi potansiyeli Türkiye’nin Ege ve Marmara bölgelerinde yüksek mertebelindedir ve dolayısıyla genel olarak rüzgâr enerjisi santralleri bu bölgelerde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 2. Türkiye’de ortalama rüzgâr enerjisi değerleri (Global Wind Atlas, 2019)

Türkiye’nin batısında, Ege denizi sahilinde bulunan İzmir ili hem rüzgâr hem de güneş enerjisi uygulamaları için uygun bir noktadadır. Bu nedenle, İzmir ili Bornova bölgesinde bulunan Ege Üniversitesi kampüsü içerisindeki Makina Mühendisliği Bölümü binasına kurulu ölçüm istasyonundan 2019 yılı boyunca alınan güneş ışınımı, dış sıcaklık, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü veri grubu bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Bu veri grubu altında hemen hemen aynı kapasiteye sahip bir rüzgâr türbini ile fotovoltaik modüler sistemin üreteceği enerji miktarları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüler sistemin ayrı ayrı veya hibrit bir sistem olarak incelendiği yayınlar birçok farklı ülke için gerçekleştirilmiştir. Yakın geçmişte rüzgâr türbini veya fotovoltaik sistemin ayrı şekilde incelendiği yayınlara ait örnekler ise aşağıda verilmiştir.

İran’ın farklı bölgelerinde küçük rüzgâr türbinlerinin konutsal alanda kullanımı HOMER yazılımı ile incelenmiştir. Ele alınan bölgelerin %30’u için rüzgâr türbinlerinin ekonomik olarak uygun olduğu ve en uygun türbin kapasitesinin ise 3 kW olduğu belirtilmiştir (Hosseinalizadeh vd., 2017). Balıkesir’deki 11 farklı meteoroloji istasyonundan alınan rüzgâr hızı verilerinin kullanımı ile bu bölgelere kurulacak 5 farklı rüzgâr türbininin enerji üretimleri belirlenmiş ve ekonomik olarak karşılaştırılmıştır (Aslan, 2018). Afrika’da rüzgâr türbinleri ile kurulacak bağımsız mikro şebekelerin fotovoltaik sistem

ve Diesel jeneratörlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Ortalama rüzgâr hızının 6 m/s'den yüksek olduğu yerlerde rüzgâr türbinlerinin fotovoltaik sistem ve dizel jeneratörler ile ekonomik olarak rekabet edebileceği belirtilmiştir. Afrika'da bu koşulları sağlayan çok fazla bölge bulunmadığı tespit edilmiştir (Gabra vd., 2019). 10 kW kapasiteli bir rüzgâr türbini için enerji ve ekserji analizleri İran'da bulunan iki ayrı şehir için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu iki şehir için rüzgâr türbininden elde edilen elektriğin maliyeti de hesaplanmıştır (Ehyaei vd., 2019). Türkiye'de bulunan 77 meteoroloji istasyonundan alınan veriler kullanılarak bu bölgelerin ortalama rüzgâr hızı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Çanakkale ve İstanbul şehirleri için Weibull parametre değerleri hesabı değişik seneler için gerçekleştirilmiştir ve rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu değerleri belirlenmiştir (Arslan vd., 2020).

Rüzgâr türbini ve fotovoltaik sistemin bir arada hibrit şekilde kullanılması ile ilgili çalışmalardan örnekler de aşağıda özetlenmektedir.

3 kW kapasiteli bir rüzgâr türbini, 17,97 m² panel alanına sahip fotovoltaik sistem ve 1 kW net güç çıkışı olan yakıt pilinden oluşan hibrit bir sistemin, iklimlendirme ihtiyacı hariç tutularak günlük 5 kWh elektrik ihtiyacı bulunan bir evin gereksiniminin ne kadarını karşılayabileceğinin analizi Ankara'da gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Atılım Üniversitesi kampüsünde ölçülen rüzgâr verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan güneş ışınım verileri kullanılmış olup, Kasım ayı haricinde enerji ihtiyacının tümünün karşılanabildiği görülmüştür (Devrim ve Bilir, 2016). Yer kaynaklı ısı pompası kullanılarak ısıtılan ve soğutulan, İzmir ilinde kurulu 150 m²'lik bir seranın iklimlendirme ve aydınlatma ihtiyacı için gerekli olan elektrik miktarı Design Builder ve Energy Plus yazılımları kullanılarak üç değişik ürün yetiştirilmesi koşullarında hesaplanmıştır. Aylık olarak bu ihtiyacın ne kadarının sera çatısının güney yönüne bakan

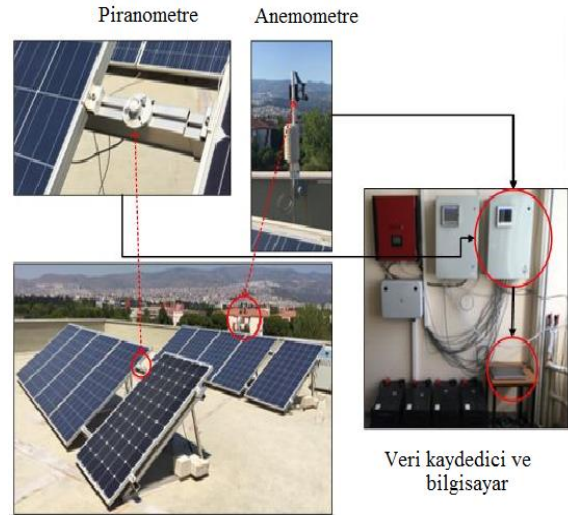
kısmı üzerine kurulacak olan 66 adet panelin yer aldığı fotovoltaik sistem ile karşılanabileceği araştırılmıştır. Ayrıca aylık olarak fazla üretilen elektriğin şebekeye satıldığı, eksik elektrik enerjisinin de şebekeden alındığı düşünülerek bir ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kullanılan sistemin geri ödeme süresi 7 – 7,4 sene aralığında belirlenmiştir (Yildirim ve Bilir, 2017). Ürdün'de bulunan bir çimento fabrikasında uygulanmak üzere 26 MW kapasiteli rüzgâr türbini, 20,75 MW kapasiteli fotovoltaik sistem ve 16,80 MWh kapasiteli Lityum-İyon pillerden oluşan bir hibrit sistem göz önüne alınmıştır. Bu sistemin elektrik ihtiyacını karşılama oranı, elektrik maliyeti göz önüne alınarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sistemin basit geri dönüş süresi 3,44 yıl hesaplanmıştır (Al-Ghussain vd., 2018). Avrupa'da ayrı iklim bölgelerinde yer alan beş farklı şehir için 117 m²'lik müstakil bir evin çatısına kurulacak 2,5 kW kapasiteli fotovoltaik sistem ve 2,5 kW kapasiteli bir rüzgâr türbininden oluşan şebekeye bağlı hibrit sistem ele alınmıştır. Evin iklimlendirme ihtiyacının ısı pompasıyla sağlandığı düşünülerek, aydınlatma ve diğer ekipmanlar ile birlikte toplam elektrik ihtiyacı Design Builder ve Energy Plus yazılımlarıyla belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen hibrit sistemin belirlenen bu ihtiyacı ne oranda karşılayacağı tespit edilmiştir. Aylık elektrik üretimi ve elektrik ihtiyacı karşılaştırılarak şebekeye elektrik satışı veya şebekeden elektrik alınmasının maliyeti belirlenmiştir. Sonuç olarak sistemin basit geri ödeme süresi ile birlikte sistemin üretimi için kullanılan enerjiyi de göz önüne alan enerji geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Basit geri ödeme süresinde en düşük değer Madrid için bulunurken enerji geri ödeme süresinde en düşük değer İzmir'e ait olduğu belirlenmiştir (Bilir ve Yıldırım, 2018). Portekiz'de bulunan Tomar bölgesinde bir endüstriyel binanın elektrik ihtiyacı için kurulması düşünülen 4 kW kapasiteli bir rüzgâr türbini ile seçilen fotovoltaik sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak fotovoltaik sistemin daha iyi performansla, daha yüksek enerji yoğunluğuna ve daha az yer

gereksinimine sahip olduğu belirtilmiştir (Pinheiro vd., 2019).

Yukarıdaki örnekler ile birçok bölge için rüzgâr türbini ve fotovoltaik sisteminin kullanıldığı enerji teknolojileri incelenmiştir. Ancak bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda meteoroloji istasyonlarından alınan rüzgâr hızı, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı değerleri kullanılmıştır. Güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı değerleri incelenen dar bir bölge için (örneğin bir il için) farklı konumlarda önemli ölçüde değişmeyeceği için sistemin kurulacağı noktanın yakınlarındaki bir meteoroloji istasyonundan alınan güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı değerlerinin kullanımı çoğu zaman herhangi bir hataya neden olmaz. Hâlbuki sistem kurulumu için ele alınan noktadaki rüzgâr hızı değerleri meteoroloji istasyonundan alınan değerlerle bazen önemli farklılıklar içerebilmektedir. Bu durum rüzgâr türbini ile üretilen enerji hesabında hatırı sayılır derecede hata yapılmasına neden olabilir. Bu çalışmada Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü binası çatısına kurulan ve yerden yüksekliği 30 m olan ölçüm istasyonu ile bir dakika aralıklı rüzgâr hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu değerler kullanılarak oluşturulan saatlik ortalama rüzgâr hızları ise analizlerde kullanılmıştır. Aynı zamanda rüzgâr yönü, dış hava sıcaklığı ve eğimli yüzeydeki güneş ışınımı (fotovoltaik panellerin eğim açısı olan 37°) ölçümleri de gerçekleştirilerek analizlerde yer almıştır. TRNSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizler deneysel çalışmalar ile ölçülen iklim veri grubu ile çalıştırılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda hemen hemen aynı kapasiteye sahip olan fotovoltaik modüler sistem ile rüzgâr türbinin aylık enerji üretimleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak her iki teknoloji kullanımı için basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, Makina Mühendisliği Bölümü binasındaki mekânların ısıtma ve soğutmasında kullanılan klima cihazlarının elektrik tüketim miktarlarının ne ölçüde rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüler sistem ile karşılanabildiği araştırılmıştır.

Veri Toplama Sistemi

Bu çalışmada küçük ölçekli rüzgâr türbinine ait enerji üretimini belirleyen rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü ile fotovoltaik modüler sistemin enerji üretiminde belirleyici olan 37° eğimli yüzeydeki güneş ışınımı değerleri bir dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Bu ölçüm işlemleri sırasında Şekil 3 ile gösterildiği gibi silikon fotodiyot piranometre (Deltaohm, 2019 (a)) ve katı hal manyetik sensör ile rüzgârgülü ve potansiyometre içeren anemometre (Davis Instruments, 2019) cihazları kullanılmıştır. Anemometrenin hemen altında ise kapasite nem sensörü ve platinyum sıcaklık sensörünün yer aldığı silindirik koruyuculu bir dış hava ölçüm istasyonu yer almaktadır (Deltaohm, 2019 (b)). Her iki cihazdan alınan mili volt veya mili amper mertebesindeki sinyaller veri kaydedici aracılığıyla güneş ışınımı (W/m^2), rüzgâr hızı (m/s) ve rüzgâr yönü ($^\circ$) veri grubuna dönüştürülerek depolanmıştır (Elimko, 2019). Ardından ilgili kaydediciye ait yazılım programı kullanılarak istenilen veri grubu ölçüm aralığı ve periyodu göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Bu çalışmada bir dakika aralıklı ölçülen veri grubu tüm yılı kapsayan analizler gerçekleştirildiğinden ötürü bir saatlik veri grubuna dönüştürülmüştür.

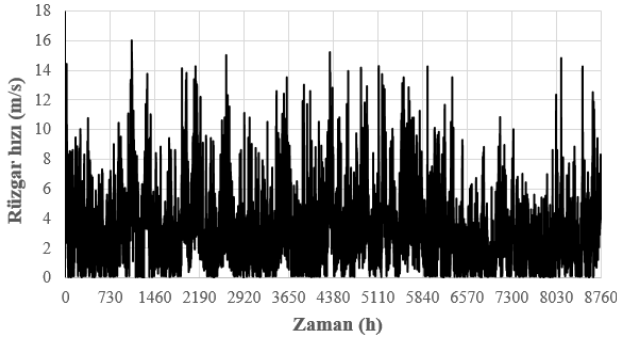


Şekil 3. Veri toplama düzeneği

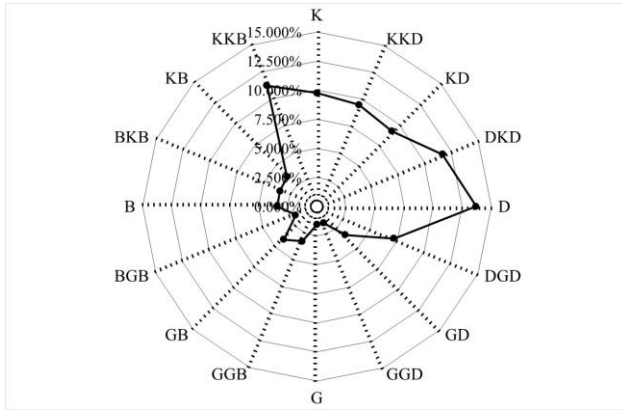
Rüzgâr ve Güneş Işınımı Verileri

2019 yılında gerçekleştirilmiş ölçümler sonucunda ele alınan konuma ait yıllık ortalama

rüzgâr hızının 2,90 m/s, 37° eğimli yüzeye düşen yıllık ortalama güneş ışınımının ise 407,07 W/m² olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr hızının değişimi Şekil 4'te sunulmaktadır. Ayrıca rüzgârın esme yönünü gösteren grafik Şekil 5'te verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere hâkim rüzgâr yönü doğu yönüdür.

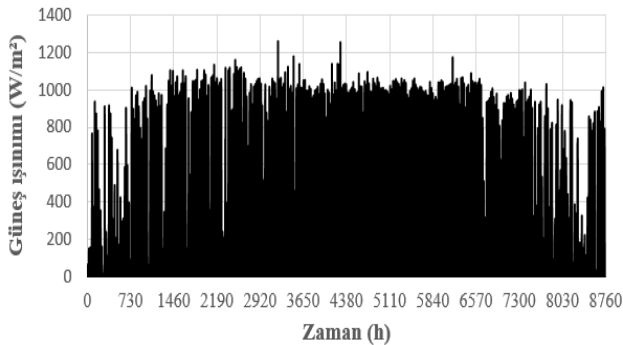


Şekil 4. Saatlik rüzgâr hızı değerleri

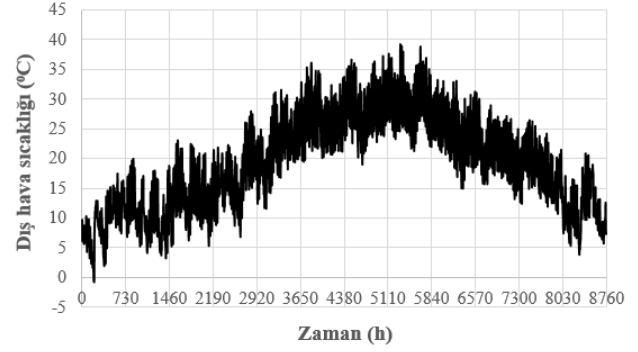


Şekil 5. Rüzgâr yönü

Eğimli yüzeye ait küresel güneş ışınımının ve dış hava sıcaklığının değişimi sırasıyla Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Saatlik güneş ışınımı değerleri



Şekil 7. Saatlik dış sıcaklık değerleri

Ele Alınan Rüzgâr Türbini ve Fotovoltaik Paneller

Bu çalışmada incelenen rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüler sistemin özellikleri aşağıda tanımlanmıştır.

Rüzgâr Türbinine Ait Teknik Özellikler

Çalışmada 55 kW kapasiteli bir rüzgâr türbininin analizi yapılmıştır. Türbin devreye giriş hızının düşük olması nedeniyle bu model seçilmiştir. Türbinin verileri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Rüzgâr türbininin karakteristik değerleri (Ecoenergy Renewables, 2019)

Özellik	Değer	Birim
Nominal Güç	55	kW
Devreye Girme Hızı	2,5	m/s
Nominal Hız	9	m/s
Devreden Çıkma Hızı	25	m/s
Rotor Çapı	20	m
Göbek Yüksekliği	34	m

Fotovoltaik Modüler Sistemine Ait Teknik Özellikler

Fotovoltaik modüler sistemde yer alan panellerin birim kapasiteleri gelişen teknoloji ile artmaktadır. Bu çalışmada da yüksek güç üretimi potansiyeli bulunan 320 W kapasiteye sahip fotovoltaik paneller kullanılmıştır (Sun Power, 2019). Ele alınan bina çatısı göz önünde bulundurulduğunda 170 adet panel yerleştirilebilmektedir. Böylelikle toplam fotovoltaik panel kapasitesi 54,4 kW olmaktadır. İlâveten bu çalışma kapsamında Makina Mühendisliği Bölümü binasındaki mekânların ısıtma ve soğutmasında kullanılan

klima cihazlarının aylık elektrik tüketim miktarlarının ne kadarını karşılayabildikleri araştırıldığından ötürü alternatif akım (AC) elde edilmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik panellerin üreteceği doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi evirici (inverter) kullanımı ile gerçekleştirilecektir. Her 5 adet fotovoltaik panelin 1 adet eviriciye bağlandığı modüler bir yapı oluşturulmuştur. Bu kapsamda ele alınan panel ve evirici özellikleri Tablo 2 (a) ve (b) ile verilmektedir.

Tablo 2. Fotovoltaik modüler sisteme ait karakteristik değerler

a) Fotovoltaik panel özellikleri (Sun Power, 2019)

Özellik	Değer	Birim
Maksimum Güç	320	W
Verim	19,9	%
Maksimum Güçte Sıcaklık Katsayısı	-0,35	%/°C
Panel Alanı	1,63	m ²
Referans Sıcaklık	20	°C
Referans Koşullarında Güneş Işınımı	800	W/m ²

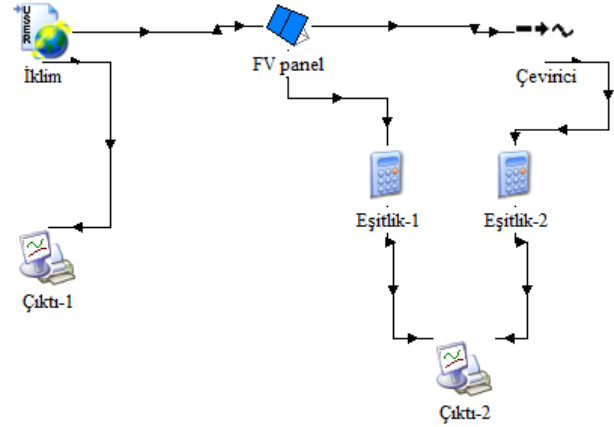
b) Evirici özellikleri (Tranergy, 2020)

Özellik	Değer	Birim
Maksimum DC Güç	2,3	kW
Maksimum Güçte Gerilim Aralığı	70-450	V
Verim	96,5	%
AC Güç	2	kW
Boyutlar (en-boy-yükseklik)	0,32-0,38-0,14	m

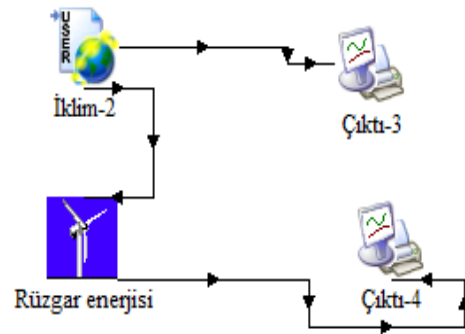
TRNSYS Programı ile Gerçekleştirilen Nümerik Çalışmalar

Mühendislikte yer alan birçok problemde birbiri ile bağımlı değişkenlerin modellenmesi ve benzetimi gerçekleştirilirken bilgi teknolojisi uygulamasının yanı sıra iyi bir ara yüze sahip, zaman açısından avantaj sağlayan ve olabildiğince hatasız çözüm sunan bir yazılım programı gereksinimi özellikle son yıllarda ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda günümüzde birçok alanda çeşitli yazılım programları geliştirilmiş olup, bu çalışma kapsamında zamana bağlı benzetim sisteminin oluşturulabildiği, tam ve genişletilebilir bir

işlem çevresine sahip TRNSYS yazılım programına yer verilmiştir (TRNSYS, 2019). Program aracılığıyla gerçekleştirilen modelleme ve benzetim çalışmaları sırasında kullanılan bileşen modelleri ise sırasıyla fotovoltaik modüler sistem ve küçük ölçekli rüzgâr türbini için Şekil 8 (a) ve (b) ile gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8. a) Fotovoltaik modüler sisteme, b) Rüzgâr türbinine ait TRNSYS modelleri

Şekil 8 (a)'dan görüleceği üzere fotovoltaik modüler sisteme ait gerçekleştirilen modelleme ve benzetim çalışmaları kapsamında öncelikle deneysel çalışmalar ile oluşturulan ve bir saatlik periyodu kapsayan iklim veri grubunu okuyabilen bir iklim modeli kullanılmıştır. Bu modele ait dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınımı çıktı değerleri ise tekli/çoklu kristalin panel performans modeli için girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca PV panel grubunu temsilen kullanılan performans modelinin ürettiği güç çıktısı batarya kullanımının olmadığı fotovoltaik sistemler için evirici modeli bileşeninin güç girdisi ile ilişkilendirilmiştir. İklim koşulları, PV panel

grubu ve evirici arasındaki girdi-çıkı parametre eşleştirmelerine ek olarak Şekil 8 (a)'daki Eşitlik-1 ve Eşitlik-2 bileşenlerine yer verilmiştir. Bu sayede 5 adet fotovoltaik panel ve 1 adet eviriciden oluşan modüler yapı toplam 170 adet fotovoltaik panel ve 34 adet eviricinin yer aldığı sistemi oluşturmak için kullanılmıştır. Son olarak Şekil 8 (a) da gösterilen çıktı bileşenleri vasıtasıyla benzetim çalışmaları sırasında iklim veri grubu özellikleri ile fotovoltaik panellere ait DC ve AC güç-enerji grafiklerin çizilmesi ve sonuçların veri dosyasına kaydedilmesi sağlanmıştır.

Şekil 8 (b) ile ise küçük ölçekli rüzgâr türbinine ait modelleme ve benzetim çalışmaları kapsamında kullanılan bileşenler görülmekte olup, fotovoltaik modüler sistemden farklı olarak güç ve rüzgâr hızı karakteristiğine bağlı rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi modeli kullanılmıştır.

En genel anlamda Şekil 8 (a) ve (b) ile verilen bileşenlerden iklim modeline ait dış dosya, Veri Toplama Sistemi bölümünde tanımlanan iklim ölçüm veri grubu kullanılarak oluşturulmuştur. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi, tekli/çoklu kristalin panel performans modeli ve evirici modeli bileşenlerine ait parametreler ise sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 (a) ve Tablo 2 (b) ile verilen değerler yardımıyla oluşturulmuştur.

Ekonomik Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında her ne kadar yenilenebilir enerji türleri arasında yer alan fotovoltaik modüler sistem ve rüzgâr türbini, çevresel ve sürdürülebilirlik açısından avantajlara sahip olsa da teknik incelemenin ekonomik değerlendirme ile birleştirilerek uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda basit geri ödeme süresi her iki sistem için ilk yatırım maliyetleri ve gerçekleştirilen enerji üretim değerlerine karşılık gelen yıllık kazançlar dikkate alınarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Basit geri ödeme süresi} = \frac{\text{ilk yatırım maliyeti}}{\text{yıllık kazanç}} \quad (1)$$

İlk yatırım maliyetleri sistem bileşenleri, kurulum, yerine ulaşım, bağlantı işlemleri vb. kalemlerin ele alınması ile anahtar teslim olarak fotovoltaik modüler sistem ve rüzgâr türbini için sırasıyla 1.300 USD/kW, yaklaşık olarak 7.540 TL/kW (Bilir ve Yildirim, 2018) ve 1.248 Euro/kW, yaklaşık 7.990 TL/kW (Baltic Energy Conservation Agency, 2018) olarak ele alınmıştır. Elektriğin kWh başına maliyeti ise orta gerilim, çift terimli tarife için mesken tipi kullanıcı temel alınarak gündüz saatlerindeki kullanım için tüm bedeller ve vergiler de göz önünde bulundurularak 0,5445 TL olarak belirlenmiştir (EPDK, 2019).

Bulgular ve Tartışma

Dünyada ve ülkemizde son yıllarda yenilenebilir enerji uygulamaları sıklaşmış ve özellikle rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik sistemler konusunda yüksek yatırımlar gerçekleştirilmiştir. Yatırım kararları ele alındığında ise ana belirleyici unsurun yatırımın gerçekleştirildiği bölgeye ait iklim özellikleri olduğu görülmektedir. Bu sebeple, Tablo 3'te görüleceği üzere öncelikle 2019 yılı boyunca bir dakika aralıklı ölçümlerden elde edilen ve kullanıcı tanımlı iklim veri işleyicisi modelinin dış dosyasını oluşturulan iklim veri grubu aylık ortalama değerlere dönüştürülerek verilmiştir. Tabloda 37° eğimli yüzeye düşen ışınım sütununda yer alan iki farklı değer sırasıyla tüm zamanı ve sadece güneşlenme süresinin olduğu zamanı kapsamaktadır. Tablo 3'te yer alan iklim veri değerlerini girdi olarak kabul eden ve Şekil 8a ile verilen fotovoltaik modüler sisteme (paneller ve eviriciler) ve Şekil 8b ile gösterilen küçük ölçekli türbine ait saatlik güç üretimleri Şekil 9 ile verilmiştir.

Şekil 9'da kırmızı, mavi ve pembe ile gösterilen ifadeler saatlik olarak sırasıyla fotovoltaik panellere ait üretime, eviricilere ait kayıplara ve rüzgâr türbini tarafından elde edilen üretim değerlerine karşılık gelmektedir.

Tablo 3. İklim veri grubu

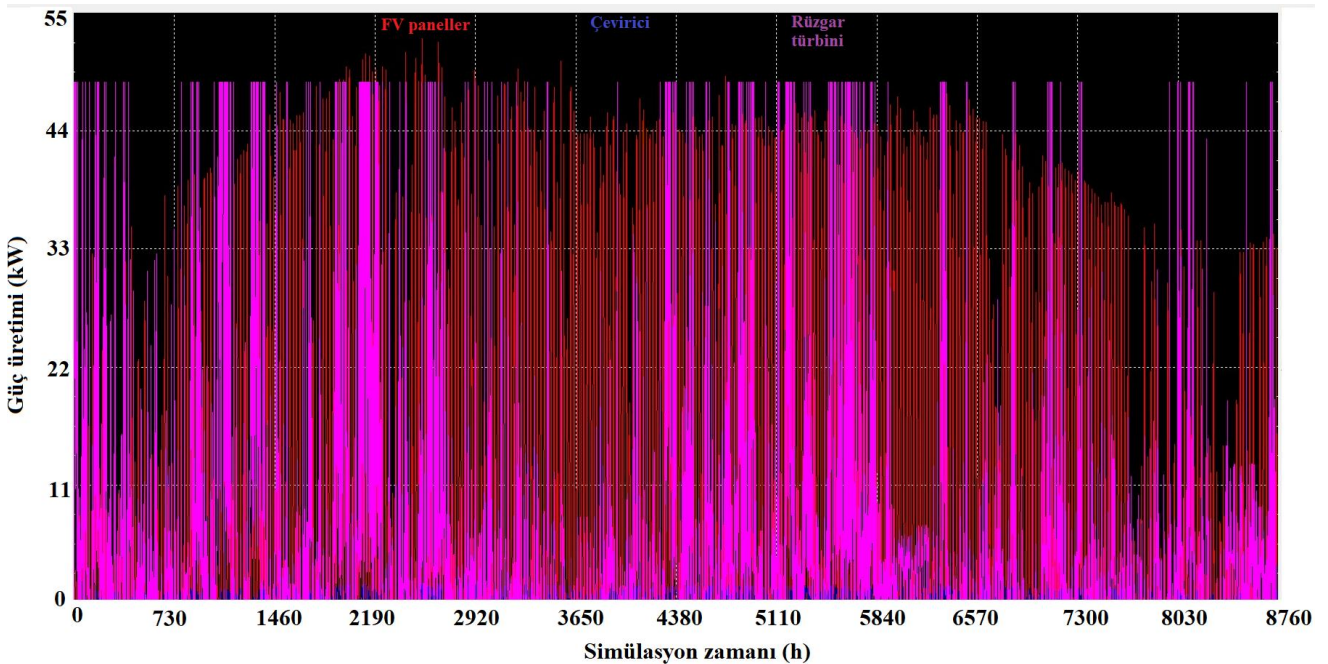
Aylar	Işınım (W/m ²)	Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hız (m/s)
Ocak	72,57/170,32	9,03	2,82
Şubat	185,59/394,66	10,21	3,87
Mart	256,89/491,33	13,44	3,40
Nisan	246,95/428,43	16,25	3,06
Mayıs	252,88/400,29	20,97	2,14
Haziran	294,40/441,59	26,40	2,37
Temmuz	316,74/486,88	28,40	3,41
Ağustos	319,48/535,34	29,52	4,19
Eylül	295,55/524,12	24,96	2,58
Ekim	228,59/459,64	21,17	2,18
Kasım	150,15/327,59	17,89	1,98
Aralık	96,00/224,60	11,84	2,68
Ocak-Aralık	226,31/407,07	19,17	2,90

Bu çalışma kapsamında amaç mühendislik binasında yer alan klimaların enerji ihtiyacını mümkün mertebe karşılamak olduğundan, fotovoltaik modüler sisteme ve rüzgâr türbinine

ait saatlik güç üretimleri AC kısımda hesaplanmıştır. Genel olarak fotovoltaik modüler sisteme ait saatlik elektrik üretiminin benzer kapasite değerlerine sahip rüzgâr türbinine göre tüm yıl göz önünde bulundurulduğunda daha yüksek seviyelerde gerçekleştiği söylenebilir. Bu fark sadece Ocak, Şubat ve Aralık aylarında gözlemlenmemiştir. Bunun temel sebebi Tablo 3'ten görüleceği üzere ilgili aylardaki ışınım değerlerinin düşük değerlere sahip olmasıdır.

Gerek fotovoltaik modüler sistem gerekse rüzgâr türbini için saatlik güç üretimlerinin elde edilmesinin ardından her iki yenilenebilir enerji teknolojisine ait yıllık analizler gerçekleştirilmiş ve mühendislik binasında yer alan klimalara ait enerji tüketim değerleri de göz önünde bulundurularak (Özkan, 2018) Tablo 4 ile sunulan değerler elde edilmiştir. Tablo 4'ten görüleceği üzere fotovoltaik modüler sistem tüm klimalara ait yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilmekte olup, rüzgâr türbini ise %86,75 oranına karşılık gelen bir enerji üretebilmektedir.

Sadece soğutma ve ısıtma periyodu dikkate alındığında ise fotovoltaik modüler sistem klimalara ait ısıtma ihtiyacının %88,85'ine karşılık gelen bir enerji üretimi



Şekil 9. Fotovoltaik modüler sisteme ve rüzgâr türbinine ait simülasyon sonucu

gerçekleştirmiştir. Soğutma ihtiyacı için ise ışınlım değerlerinde meydana gelen artışa ve klima ihtiyacında ısıtma fonksiyonuna göre azalışa bağlı olarak bir hayli yüksek oranda (%202,25) üretim elde edilmiştir. Rüzgâr türbini ise klimalara ait soğutma ihtiyacının üzerinde bir üretim gerçekleştirmiştir (%114,45), fakat ısıtma ihtiyacını %72,15 oranında karşılayabilmiştir.

Tablo 4. Yıllık enerji üretim ve tüketim değerleri (kWh).

Aylar	Enerji Üretimi		Enerji Tüketimi
	FV Sistem	Rüzgâr Türbini		Klimalar
Ocak	2.288,49	4.813,52	22.942,70 (ısıtma)
Şubat	4.861,38	7.812,57	
Mart	7.729,52	6.888,18	
Nisan	7.721,64	5.144,56	22.102,50 (soğutma)
Mayıs	8.287,42	2.194,82	
Haziran	8.993,13	3.204,61	
Temmuz	10.002,35	6.077,77	
Ağustos	9.696,94	8.674,24	
Eylül	8.184,39	2.892,52	18.984,20 (ısıtma)
Ekim	6.635,31	2.630,99	
Kasım	4.599,46	1.861,92	
Aralık	2.953,69	3.352,59	
Toplam	81.953,72	55.548,29	64.029,40

Yukarıda verilen tablo teknik değerlendirme sonucundaki özet bilgileri içermektedir. Buna ek olarak gerçekleştirilen ekonomik hesaplamalar sonucunda ise fotovoltaik modüler sistem ve rüzgâr türbini tarafından sağlanan yıllık kazançlar sırasıyla 44.623 TL ve 30.246 TL olarak belirlenmiştir. Ayrıca, fotovoltaik modüler sisteme ve rüzgâr türbinine ait ilk yatırım maliyetleri sırasıyla 54,4 kW ve 55 kW kapasiteye sahip sistemler için 410.176 TL ve 439.450 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değerler sonucunda basit geri ödeme süreleri ise fotovoltaik modüler sistem ve rüzgâr türbini için sırasıyla 9,19 yıl ve 14,52 yıl olarak bulunmuştur. Basit geri ödeme süresi 50 kW kapasiteli bir rüzgâr türbine için Teksas-Amerika Birleşik Devletleri iklim koşulları altında 13 yıl olarak ortaya çıkmıştır (Chang ve

Starcher, 2019). Alberta-Kanada da iklim koşulları altında gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise 20 kW kapasiteli türbin için bu süre 9,53 yıl olarak hesaplanmıştır (Kabir vd, 2012). İtalya da düz arazi ve iyi rüzgâr potansiyeli koşullarında ise 38 MW kapasiteye sahip rüzgâr santrali için 13,5 yıllık bir süre ortaya çıkmıştır (Serri vd, 2018). FV sistemler için ise Avustralya da farklı tarife koşullarında gerçekleştirilen çalışmada 7,6 ile 10,75 yıl arasında değişen bir süre elde edilmiştir (Ellabban ve Alassi, 2019). Ülkemiz iklim koşulları altında şebeke bağlantılı çatı tipi fotovoltaik modüler sistemler için gerçekleştirilen güncel bir çalışmada ise güney, orta ve kuzey bölgelerinde sırasıyla 7,75–8,33 yıl, 8,59–10,85 yıl ve 11,65–14,43 yıl aralıklarında değişen geri ödeme süreleri hesaplanmıştır (Duman ve Güler (2020). Bu durumda fotovoltaik modüler sistemin ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu ve benzetim sonuçları dikkate alındığında 20 yıllık bir ömür kabulü altında yaklaşık 11 yıl boyunca yıllık 44.623 TL kazanç sağladığı söylenebilir. Bu bulgulara ek olarak enerji piyasasındaki ekonomik koşullarının (enflasyon ve faiz oranları, teşvikler, elektrik alım tarifleri, vb.) ve sistem bileşenlerinin değişimi ile zaman içinde bozulmaya uğrama durumlarının da yaşam ömrü boyunca göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Ozcan vd., 2019).

Sonuçlar

Yapılan çalışmada yaklaşık aynı kapasiteye sahip olan bir rüzgâr türbini ile fotovoltaik modüler sistemin enerji üretimi ve ekonomik karşılaştırılması yapılmıştır. Hem güneş hem de rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu İzmir’de bulunan Ege Üniversitesi kampüsündeki Makina Mühendisliği Bölümü binası çatısında kurulu ölçüm istasyonundan rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, dış sıcaklık, dış bağıl nem ve güneş ışınlım değerleri dakikalık olarak alınmış ve saatlik veriye çevrilmiştir. Elde edilen verilerle seçilmiş olan rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüler sistemin enerji üretimleri TRNSYS programı ile hesaplanmıştır. Makina Mühendisliği Bölümü binasının ısıtılması ve

soğutulmasında kullanılan klimaların enerji ihtiyacı göz önüne alınarak rüzgâr türbininin ve fotovoltaik modüler sistemin bu enerji ihtiyacının ne kadarını karşılayacağı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre rüzgâr türbini kullanılarak ısıtma sezonunda ihtiyacın %72,15'ini, soğutma sezonunda %114,45'ini, tüm yıl göz önünde bulundurulduğunda ise %86,75'ini karşılayabilecek miktarlarda elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Fotovoltaik modüler sistem ise ısıtma sezonundaki elektrik ihtiyacının %88,85'i kadar, soğutma sezonundaki elektrik ihtiyacının ise %202,25'i kadar elektrik üretimi gerçekleştirerek tüm ihtiyaç karşılayabilmektedir. Yıllık olarak fotovoltaik modüler sistem klimaların ihtiyacı olan elektriğin yaklaşık %128'i kadar elektrik üretmektedir. Yapılan ekonomik analiz sonucu fotovoltaik sistemin basit geri ödeme süresi 9,19 yıl bulunurken, rüzgâr türbini için bu süre 14,52 yıl olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, ele alınan Ege Üniversitesi kampüsü içinde rüzgâr türbini kurulumunun hem yıllık enerji üretiminin yetersizliği hem de basit geri ödeme süresinin daha uzun oluşu nedeniyle uygun olmadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, fotovoltaik modüler sisteminin hem yıllık enerji üretimi ile ihtiyacı tamamen karşılayabilmesi, hem de basit geri ödeme süresinin kısa oluşu nedeniyle uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada TÜBİTAK 3001 programı ile desteklenen 215M016 numaralı "Güneş Enerjisi Destekli Bir Klima Sisteminin Tasarımı, Modellenmesi, Kurulumu, Testi, Simülasyonu ve Farklı Soğutucu Akışkanlar Açısından İleri Ekserji Analizleri ile Değerlendirilmesi" başlıklı araştırma projesi kapsamında elde edilen rüzgâr hızı, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda kuruma teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Al-Ghussain, L., Ahmed, A., Haneef, F., (2018). Optimization of Hybrid PV-Wind System: Case Study Al-Tafilah Cement Factory, Jordan,

Sustainable Energy Technologies and Assessments. 30, 24-36.

Arslan, H., Baltacı, H., Akkoyunlu, B.O., Karanfil, S., Tayanc, M., (2020). Wind Speed Variability and Wind Power Potential over Turkey: Case Studies for Çanakkale and İstanbul, *Renewable Energy*. 145, 1020-1032.

Aslan, A., (2018). Balıkesir Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması ve Türbinlerin Ekonomik Analiz Kapsamında Karşılaştırılması, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*. 38(1), 25-41.

Baltic Energy Conservation Agency, Benchmarking of small and medium size wind turbine technologies and legal framework

http://swipproject.eu/wp-content/uploads/2015/11/D1.1_2.pdf

(27.08.2019)

Bilir, L., Yildirim, N., (2018). Modeling and Performance Analysis of a Hybrid System for a Residential Application, *Energy*. 163, 555-569.

Chang, B., Starcher, K., (2019). Evaluation of wind and solar energy investments in Texas, *Renewable Energy*, 132, 1348-1359.

Davis Instruments, iklim ölçüm cihazları,

https://www.davisinstruments.com/products/weather/spec_sheets/6410_SS.pdf

(20.08.2019)

Deltaohm iklim ölüm cihazları (a), http://www.deltaohm.com/ver2012/index.php?main_page=product_info&cPath=1_17&products_id=93

(20.08.2019)

Deltaohm iklim ölüm cihazları (b), http://www.deltaohm.com/ver2012/index.php?main_page=product_info&cPath=1_8_22&product_s_id=173

(06.03.2020)

Devrim, Y., Bilir, L., (2016). Performance Investigation of a Wind Turbine-Solar Photovoltaic Panels-Fuel Cell Hybrid System Installed at İncek Region – Ankara, *Energy Conversion and Management*. 126, 759-766.

Duman, A. C., Güler, Ö., (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey. *Renewable Energy*, 148, 697-711.

Ecoenerg Renewables, EC Wind 55kW Wind Turbine, <https://eco-energ.co.uk/wind/ec-wind-55kW-wind-turbine/>

(15.08.2019)

Ehyaie, M.A., Ahmadi, A., Rosen, M.A., (2019). Energy, Exergy, Economic and Advanced and Extended Exergy Analyses of a Wind Turbine, *Energy Conversion and Management*. 183, 369-381.

- Elimko, kayıt ve kontrol cihazları,
<http://www.elimko.com.tr/files/EPR110.pdf>
(20.08.2019)
- Ellabban, O., Alassi, A., (2019). Integrated Economic Adoption Model for residential grid-connected photovoltaic systems: An Australian case study. *Energy Reports*, 5, 310-326.
- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), Elektrik birim maliyeti,
<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>
(21.08.2019)
- Gabra, S., Miles, J., Scott, S.A., (2019). Techno-economic Analysis of Stand-Alone Wind Micro-Grids, Compared with PV and Diesel in Africa, *Renewable Energy*. 143, 1928-1938.
- Global Solar Atlas, Türkiye Güneş Işınmı Haritası
<https://globalsolaratlas.info/downloads/turkey>
(27.08.2019)
- Global Wind Atlas, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Haritası
<https://globalwindatlas.info/area/Turkey>
(27.08.2019)
- Hosseinalizadeh, R., Rafiei, E.S., Alavijeh, A.S., Ghaderi, S.F., (2017). Economic Analysis of Small Wind Turbines in Residential Energy Sector in Iran, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 20, 58-71.
- Kabir, M. R., Rooke, B., Dassanayake, G. M., Fleck, B. A., (2012). Comparative life cycle energy, emission, and economic analysis of 100 kW nameplate wind power generation. *Renewable Energy*, 37(1), 133-141.
- Melikoglu, M., (2016). The Role of Renewables and Nuclear Energy in Turkey's Vision 2023 Energy Targets: Economic and Technical Scrutiny, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 62, 1-12.
- Ozcan, H.G, Gunerhan, G., Yildirim, N., Hepbasli, A., (2019). A comprehensive evaluation of PV electricity production methods and life cycle energy-cost assessment of a particular system, *Journal of Cleaner Production*. 238, Article:117883.
- Özkan, Mustafa., (2018). Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Binasının Enerji Verimliliği Profiline Çıkarılması, *Lisans Tezi*, EÜ Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Pinheiro, E., Bandejas, F., Gomes, M., Coelho, P., Fernandes, J., (2019). Performance Analysis of Wind Generators and PV Systems in Industrial Small-Scale Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 110, 392-401.
- Serri, L., Lembo, E., Airoidi, D., Gelli, C., Beccarello, M. (2018). Wind energy plants repowering potential in Italy: technical-economic assessment. *Renewable Energy*, 115, 382-390.
- Trannergy, Eevirici özellikleri,
<https://www.wechselrichter-reparaturen.net/pdf/trannergy/PVI1300-3000TL-EN.pdf>
(12.02.2020)
- Sun Power, Tekli kristalin panel özellikleri,
<https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/data-sheets/ds-e20-series-327-residential-solar-panels.pdf>
(20.08.2019)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (a),
<https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>
(13.08.2019)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (b),
<https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>
(13.08.2019)
- TRNSYS, Zamana bağlı sistem benzetim programı,
<http://www.trnsys.com/>
(20.08.2019)
- Yildirim, N., Bilir, L., (2017). Evaluation of a Hybrid System for Nearly Zero Energy Greenhouse, *Energy Conversion and Management*. 148, 1278-1290.

Comparison of a wind turbine and photovoltaic panels: Example of Ege University – İzmir

Extended abstract

Renewable energy use in Turkey has been increased over the years and significant amount of investment has been made in solar and wind energy systems recently. The reason of this fact is that Turkey has great potential in these two renewable energy sources. Solar energy is especially abundant for the south middle of the country, while wind energy potential is high at the Aegean and Marmara regions of Turkey. In the present study, the energy production and economic comparison of a wind turbine (55 kW) and a photovoltaic panel system (54.4 kW), with approximately the same capacity, is accomplished for the Mechanical Engineering department building in Ege University campus area located in İzmir, which is at the Aegean Sea coast of Turkey. Air conditioner units are used for the heating and cooling of the Mechanical Engineering department building and it is investigated how much of electrical energy use of these air conditioner units can be covered by the considered wind turbine and the photovoltaic panel system. Wind speed, direction, outdoor temperature and solar radiation values at 37° inclination (which is the slope angle of the photovoltaic panels) are determined for one-year period using a measurement station installed at the roof of the Mechanical Engineering department building. All data are acquired each minute from the measurement station and they are converted into hourly data in order to be used in the analyses. The necessary climate, wind turbine, photovoltaic panels and converter properties are considered as inputs and the energy generation of both wind and photovoltaic panel systems are calculated using

TRNSYS software with the relevant models. For the energy generation calculation of the photovoltaic panel system, user defined weather data processor is used with single photovoltaic panel model and the inverter model without battery utilization. Output components are used in DC and AC power generation plotting and data folder creation. Similarly, for the energy generation calculation of the wind turbine user defined weather data processor is used with wind energy conversion system model depending on power and wind speed characteristics. Again, output components are used for the same purpose. As a result, it is found that the photovoltaic panel system can cover all yearly electrical energy need of the air conditioners, while the wind turbine can provide only 86.75 % of the yearly need. It is calculated that the photovoltaic panel system can generate 88.85% of the need in the heating season. However, the wind turbine is found to supply only 72.15% of the need in this season. It is determined that the photovoltaic panel system can provide 202.25% of the electrical energy need in the cooling season, but the generation of the wind turbine is at a level of 114.45% of the need for the same season. The economic evaluation of both systems is made considering the simple payback time of the systems. The simple payback time of the photovoltaic panel system and the wind turbine are calculated as 9,19 years and 14,52 years, respectively. When the results are taken into consideration, it can be said that the installation of the investigated photovoltaic panel system for the Ege University Mechanical Engineering department building is preferable in terms of both energy generation and economic aspects, compared to the evaluated wind turbine.

Keywords: Wind Turbine; Photovoltaic Panels; Renewable Energy; TRNSYS Analysis; Simple Payback Time

Konik dişlilerin dayanım analizinde tredgold yaklaşımının ANSYS ile araştırılması

Investigation of tredgold approach in strength analysis of bevel gears with ANSYS

Gürkan İrsel*

¹ Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne,
gurkanirsel@trakya.edu.tr ORCID: 0000-0003-0828-6560, Tel: (284) 226 12 17 (2118)

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 3 Ocak 2020
Düzeltilme: 8 Eylül 2020
Kabul: 10 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Tredgold, Konik dişli, ANSYS, DIN 3991, diş dibi eğilme gerilmesi

ÖZET

Konik dişliler, mekanik güç iletimi için endüstriyel makinelerde oldukça yaygın kullanılan makine elemanlarıdır. Bir çift konik dişli genel anlamda, diş dibi eğilme gerilmesi ve yüzey temas gerilmesi olarak iki tür zorlanmaya maruz kalmaktadır. Bu zorlanmanın hesaplanması optimum tasarımın gerçekleştirilmesi için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bir konik dişli çiftinin diş dibi eğilme ve temas gerilmesi hesabı sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan ANSYS 2019R3 ile ve analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Analitik hesapta DIN 3991 yöntemi uygulanmıştır. Konik dişlinin düz silindirik sanal dişlisi tredgold yaklaşımı ile oluşturulmuştur ve çözüm bu sanal dişli üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analitik olarak sanal dişliler hesaplanmış ve bu sanal düz dişli çifti için çözüm yapılmıştır. Daha sonra konik dişlilerin katı modelleri CATIA V5 R20 ile oluşturulmuştur. ANSYS mechanical bölümünde malzeme, temas ve mafsalları tanımları yapılmıştır. Dişli çifti için en zor koşul olan tek diş teması için non-lineer çözüm Newton Rapson metodu ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tredgold yöntemi ile gerçekleştirilen çözüm ile ANSYS çözümü arasında % 3.2'lik fark olduğunu göstermiştir. Tredgold yöntemi ile gerçekleştirilen çözümün standart dişliler için oldukça pratik olduğu, modifiye ve özel dişlilerde ise sonlu elemanlar yönteminin kullanımının avantajlı olacağı tespit edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.669831

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 January 2020
Revised: 8 September 2020
Accepted: 10 September 2020

Keywords:

Tredgold, Bevel gear, ANSYS, DIN3991, bending stress

ABSTRACT

Bevel gears are machine elements that are widely used in industrial machines for mechanical power transmission. A pair of bevel gears is generally subjected to two types of stress: bending stress and surface contact stress. The calculation of this stress is very important for achieving the optimum design. In this study, the bending and contact stress calculation of a bevel gear pair was performed analytically with ANSYS 2019R3, which made a solution with the finite element method. In the analytical calculation, DIN 3991 method was applied. The straight cylindrical virtual gear of the bevel gear was created by the tredgold approach and the solution was realized over this virtual gear. Virtual gears have been calculated analytically and a solution has been made for this pair of virtual spur gears. Then solid models of bevel gears were created with CATIA V5 R20. Material, contact and joint definitions were made in ANSYS mechanical section. The non-linear solution for single tooth contact, which is the most difficult condition for the gear pair, was realized by the Newton Rapson method. The results showed that there is a 3.2% difference between the solution realized with the tredgold method and the ANSYS solution. It has been determined that the solution realized with the Tredgold method is very practical for standard gears, and the use of the finite element method in modified and special gears will be advantageous.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Gürkan İRSEL
✉ gurkanirsel@trakya.edu.tr

Giriş

Konik dişlilerin optimum tasarımının gerçekleştirilmesi diş dibi eğilme gerilmesi ve yüzey temas gerilmesi hesaplarının doğru yapılmasıyla mümkündür [1] [2]. Dişlilerin arızalanması sadece ekipmanın hasar görmesine neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda kişisel güvenlik için de potansiyel risk oluşturmaktadır. Yüzey aşınması zaman içerisinde meydana gelirken, diş dibi kırılmaları ile hasar hızlı bir şekilde ve olumsuz mekanik sorunlar ile sonuçlanmaktadır. Diş dibi kırılma hasarları hatalı kullanım ile şok yüklemelerin, hatalı tasarımların veya hatalı ısıl işlemin bir göstergesidir. Hasara uğramayacak bir hareket iletim sistemi için dişli hesabı önemlidir.

Dişlilerin prototip üretimleri oldukça maliyetli olduğundan dişlilerin hesapları için teorik ve nümerik hesaplar tercih edilmektedir. Analitik hesabın temeli temeli 1892 yılında Wilfred Lewis'in geliştirdiği matematiksel modele dayanmaktadır. Lewis, bu eşitliği geliştirirken diş, bir ankastre cisim olarak ele alarak dişin üzerine etkiyen kuvvetin oluşturduğu maksimum gerilme değerini hesaplamıştır. Ancak, diş dibi yarıçapını, ortaya çıkan gerilme konsantrasyonunu, dinamik etkileri (Hotait & Kahraman, 2013) ve diş yüklemesinin radyal bileşenini hesaba katmamıştır. 1926'da Timoshenko and Baud fotoelastik bir model geliştirmişleridir [3], Dolan ve Broghamer [4], fotoelastik deneylere dayanan bir gerilme faktörü oluşturarak Lewis'in çalışmalarını geliştirmiştir [5]. Analitik yöntemler bugün bu temel ile tecrübi değerlerin parametreler ile etkilmesiyle kullanılmaktadır.

Günümüzde dişli hesabı yaygın olarak AGMA 2003 B97, ISO 10300:2001 Method B ve DIN 3991:1988 yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler bu çalışmada sırasıyla kısaca AGMA, ISO, DIN olarak anılacaktır. AGMA, DIN ve ISO standartları ankastre giriş eğilme gerilmesini temel alan analitik metotlardır.

Analitik yöntemler ile birlikte birlikte 1970'lerden bu yana sonlu elemanlar yöntemiyle de dişli dayanım hesapları gerçekleştirilmektedir. ANSYS, bu sonlu elemanlar yazılımlarından biri ve en yaygın kullanılanıdır [6] [7] [8]

ANSYS ile 3D, 2D tek boyutlu analizler yapılabilmektedir. Üretim için çizilen 3D modellerin ANSYS ile analiz için doğrudan kullanılabilir olması 3D analizlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. 3D modelleme modifikasyonların dahil edilmesi ve karmaşık geometrilerin incelenmesine imkan vermesi gibi avantajları olmasına karşın tecrübe gerektiren, karmaşık ve zaman alıcı bir yöntemdir [3]. Analizlerde model, mesh metodu, temas tanımlamaları ve çözdürme yöntemi büyük öneme sahiptir. Düzensiz şekilli ve farklı materyallerden oluşan yapıları modellemek zordur, özellikle de yapı belirli ara yüzler ve ince tabakalar içerdiği takdirde bu durum daha da zorlaşmaktadır. Karmaşık yapıların isabetli FE modellerini geliştirmek zorlayıcı olabilmekte ve karmaşık modellerde kaliteli mesh yapısı üretmek mümkün olmayabilmektedir [9]. Böyle durumlarda mevcut geometrinin uygun analiz işlemleri için düzenlenme çalışmaları yapılması gerekmektedir. Bazı kabuller ile analize uygun modeller oluşturmak bu bağlamda önem kazanmaktadır [10].

Konik dişliler dıştan içe doğru küçülen modül ve değişen diş kalınlığına sahiptirler. Net biçimde koordinatları belirlemek de zahmetli bir işlemdir. Bu nedenle problemi kolaylaştırmak için konik dişlilere eşdeğer dişli oluşturulmaktadır. Konik dişlilerin analitik hesabında eşdeğer düz dişli Tredgold yaklaşımı ile oluşturulmaktadır [11],[12]. Böylece düz dişlinin hareketi kolaylıkla tanımlanabilmekte ve anlaşılabilirliktedir.

Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmada, 21 ve 25 diş sayılarına sahip bir sistemde tredgold yaklaşımı ile eş değer

düz dişli hesabı ve tasarımı yapılmıştır. Konik dişli çiftinin FEM hesabı gerçekleştirilmiştir. Fem hesabı detaylarına değinilmiş ve doğru sonuç için mesh çalışması açıklanmıştır. Non-linear sonlu elemanlar çözümü ile tredgold çözüm sonucu karşılaştırılmıştır. Böylece yöntemlerin uygulamalarını ve avantajlarını sunan bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Konik Dişlilerin Modellenmesi

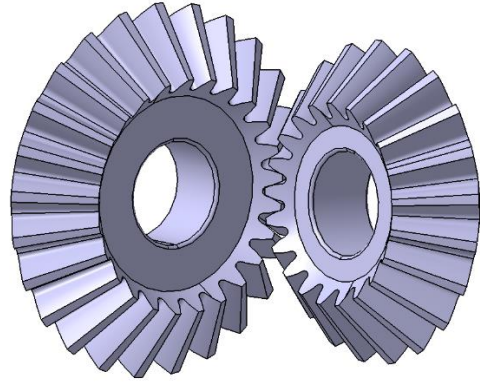
Konik dişliler standartlara göre modellenirler. Konik dişliler bu çalışmada DIN normuna göre CATIA ile modellenmiştir. Dişliler 90° açıyla montaj edilmişlerdir.

Dış modülü 4 olan dişliler konik olmaları nedeni ile değişen modüle sahiptirler ve ortalama modül değerleri 3,332' tür. Basınç temas açıları 20° dir (Tablo1). Tek kademeli bu konik dişli çifti 300 dev/dak hızla 200 Nm tork iletmektedir.

Tablo 1. Dişli sistemi geometrik özellikleri

Diş geometrisi		Pinyon	Dişli
Şaft Açısı (°)	[Sigma]	90	
Ortalama Modül	[mmn]	3.332	
Basınç Açısı (°)	[alfn]	20	
Diş Sayısı	[z]	21	25
Dişli Genişliği	[b]	25	25

Dişliler CATIA V5 R20 ile modellenmiş ve montaj edilmiştir (Şekil 1). Dişlilerin malzemesi 18CrNiMo7-6' dır. Dişli malzeme özellikleri Tablo 2' de görülmektedir.



Şekil 1. Konik dişli çifti

Tablo2. Dişli malzeme özellikleri

Özellik		Pinyon	Dişli
Dişli malzemesi		18CrNiMO7-6	18CrNiMO7-6
Yüzey sertliği (HRC)		63	63
Diş dibi yorulma dayanımı (N/mm^2)	[σ_{Flim}]	430.00	430.00
Yüzey basıncı yorulma dayanımı (N/mm^2)	[σ_{Hlim}]	1500.00	1500.00
Çekme gerilmesi (N/mm^2)	[σ_B]	1000.00	1000.00
Akma gerilmesi (N/mm^2)	[σ_S]	695.00	695.00
Elastisite modülü (N/mm^2)	[E]	206000	206000
Poisson oranı	[ν]	0.3	0.3

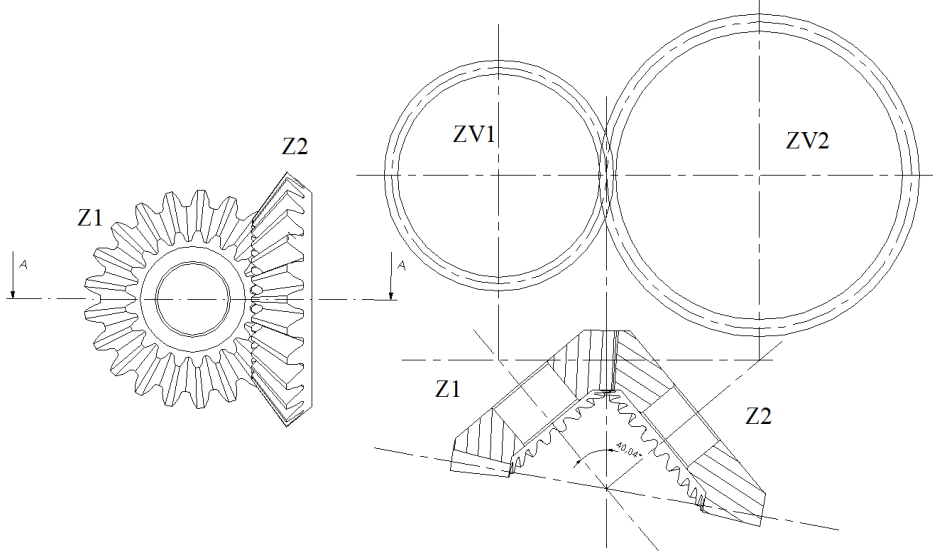
Tredgold Yöntemi

Tredgold yöntemi; konik dişlinin sanal dişliye indirgenmesi işlemi ve analitik

olarak dişlinin daha kolay tanımlanarak çözümlenmesi için gerçekleştirilmektedir [12].

Z1 ve Z2 dişlilerinin montajlarının kesitleri montaj açıları ve orta modülden taşınan eksenleri Şekil 2 de görülmektedir. ZV1 ve

ZV2 eşdeğer sanal düz silindirik dişlilerdir. [13].



Şekil 2. Tredgold yaklaşımı ile sanal dişlilerin oluşturulması

Tredgold yaklaşımı ile eş değer dişliler (ZV1 ve ZV2) için ortalama modül ve düz dişlilerin boyutları aşağıdaki gibi verilmektedir:

Diş sayıları oranı:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{25}{21} = 1.19$$

Çıkış devir sayısı

$$n_2 = \frac{n_1}{u} = 252.10 \text{ d/d}$$

Koni tepe Açılıarı

$$\tan \delta_1 = \frac{1}{u}, \delta_1 = 40,04^\circ$$

$$\delta_2 = 90 - 40.04 = 49.94^\circ$$

$$M_1 = 200 \text{ Nm}$$

Taksimat çapı

$$d_e = z_1 \cdot m_e \quad (m_e = 4)$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = 38,869$$

Ortalama taksimat çapı

$$d_{m1} = d_e - b \cdot \sin \delta = 69,93 \text{ mm}$$

Ortalama modül;

$$m_m = 3,332$$

Eşdeğer dişliler

$$d_{v1} = \frac{d_{m1}}{\cos \delta_1} = 91,328$$

$$d_{m2} = z_2 \cdot m_m = 83,325 \text{ mm}$$

$$d_{v2} = \frac{d_{m2}}{\cos \delta_1} = 129,433 \text{ mm}$$

Nominal kuvvet değeri

$$F_{mt} = \frac{M}{d_{m1}/2} = 5720 \text{ N}$$

Sanal diş sayıları

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = 27,426$$

Diş form faktörü $Y_F = 2.62$, Gerilme düzeltme faktörü $Y_S = 1.65$, Temas oranı faktörü $Y_\epsilon = 0.70$, Helis açı faktörü $Y_\beta = 1$ 'dir (ref). b^* efektif diş genişliğidir.

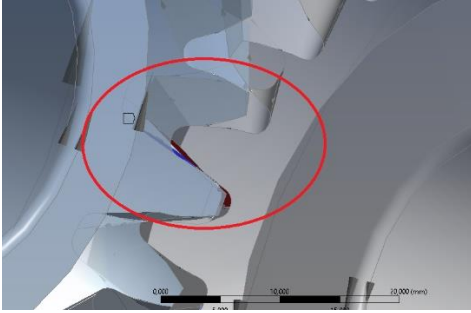
$$\sigma_{F0} = \frac{F_{mt}}{b \cdot m_e} Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta$$

$$\sigma_{F0} = 244,14 \text{ MPa}$$

nominal gerilme değeri elde edilir.

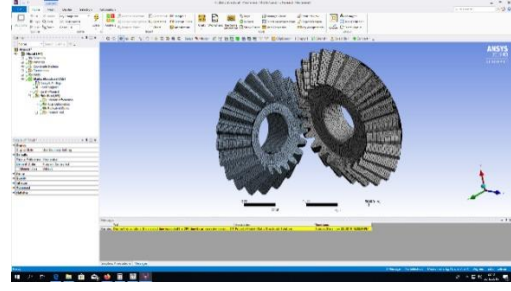
ANSYS ile Diş Dibi Gerilme Analizi

Çalışılan modeldeki dişlinin diş diplerinde oluşan gerilme dağılımını bulabilmek için ANSYS static structural modülünde analiz işlemi gerçekleştirildi. Montaj dosyası ticari CAD yazılımından elde edilerek ANSYS programına import edildi. Space Claim modülü ile geometrilerin topolojileri paylaşıldı. Malzeme özellikleri tanımlanarak yazılıma malzeme kütüphanesinden aktarıldı. Dişlilerin dayanım için en zorlu koşul olan tek dişte teması için birer yüzey temas alanı tanımlandı ve gerilme bu alan üzerinden modellendi.

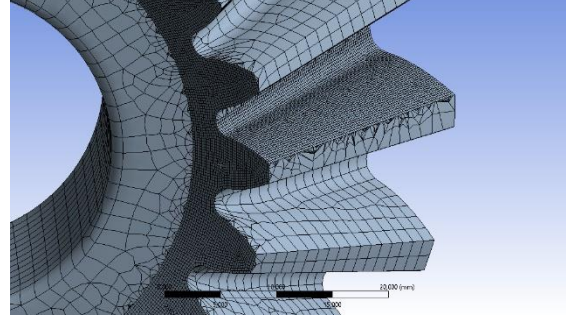


Şekil 3. Diş temas tanımları

Mesh yapılandırma işleminde kullanılacak element modelleme için Hex dominant metod seçildi. Pinyon ve dişli için genel mesh boyutu 1.5 mm (Şekil 4), yüzeylerde ise mesh boyutu 0,25 mm olacak şekilde belirlendi (Şekil 5).



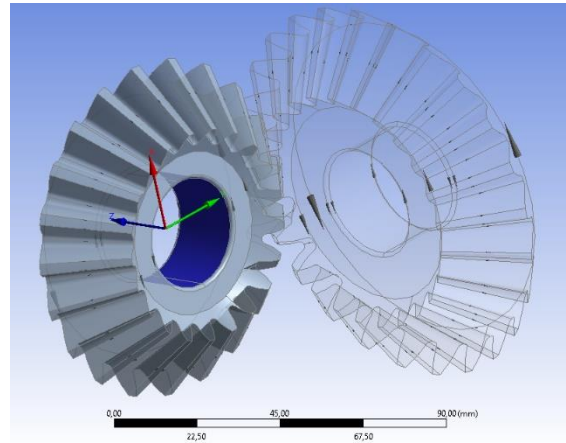
Şekil 4. Mesh ağı oluşturulması



Şekil 5. Temas yüzeyinde mesh yapısı

Yüzeydeki mesh boyutu 0.2 mm, genel çözümden mesh boyutu 1.5 mm dir. Mesh çarpıklık (skewness) değeri 0.26'dır ve ANSYS mesh değerlendirme kriterine göre 0.25 mükemmel mesh yapısıdır.

Dişli mil deliğinden sabitlenerek pinyon göbeğinde döner mafsallık (Revuloint joint) olarak tanımlandı. Bu mafsallık üzerinden 200 Nm tork uygulandı (Şekil 6).



Şekil 6. Sınır şartlarının belirlenmesi

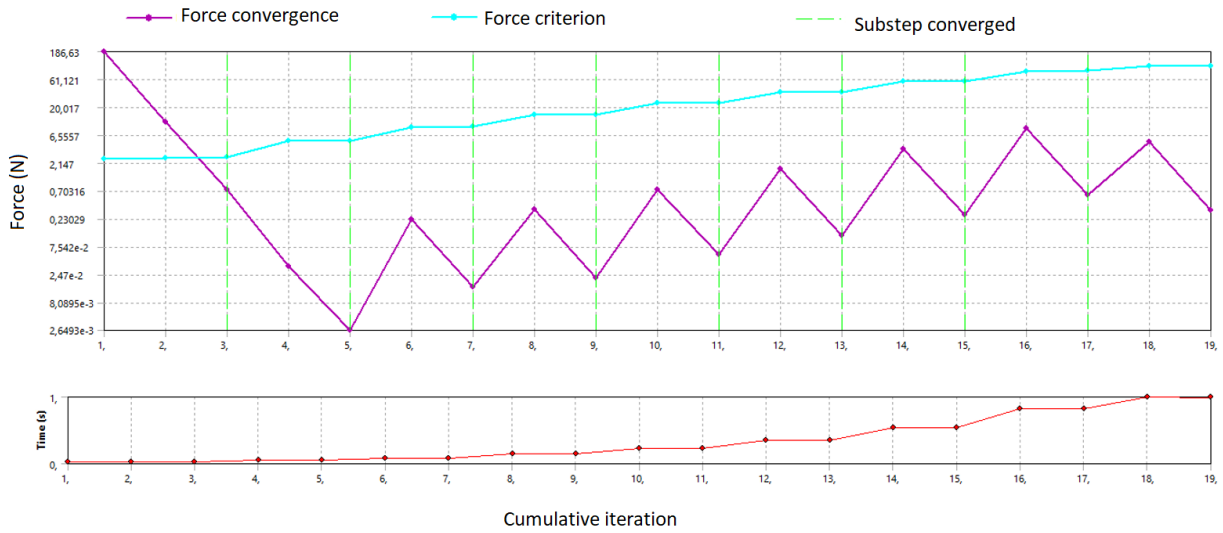
Bir sistemde plastik deformasyona neden olacak gerilme değerlerine ulaşıldığında non-lineer çözüm gerekmektedir. Lineer sonlu elemanlar analizlerinde sisteme bir

kuvvet uygulandığında sistemde bir deplasman oluşmaktadır. Bu deplasman sistemin rijitlik matrisi ile doğru orantılıdır. Bu $f = kxu$ ile ifade edilir. Ancak nonlinear analizlerde ise sistemin rijitlik matrisi değişkendir. Bu nedenle çözüm iterasyonlar ile gerçekleştirilir ve bazı kabuller de gerektirir. Şekil değişiminin mukavemete etkisi ve kontaktların değişmesi bu bağlamda önemlidir. K matrisinin deplasman cinsinden yazılması gerekir (K^T).

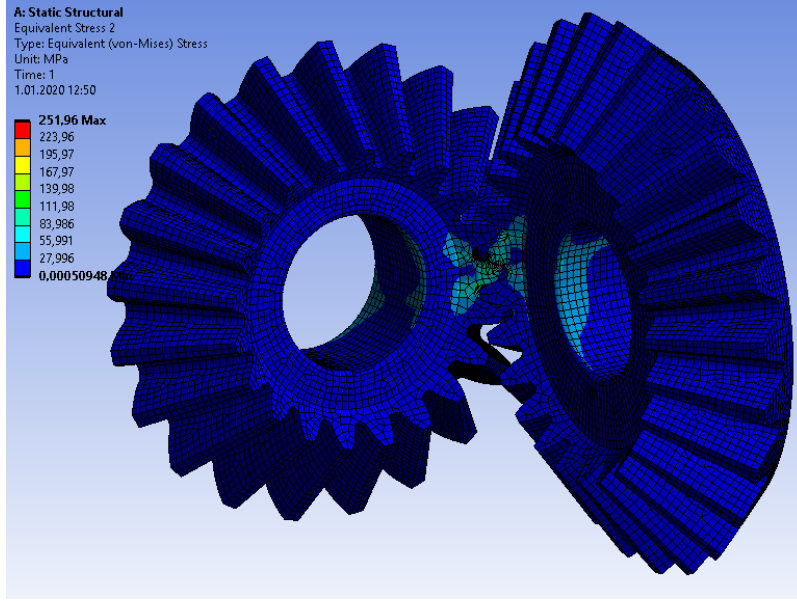
Non-linear çözümde yaygın olarak Newton raphson metodu kullanılır. Bu yöntemde çözüme linear olarak başlanır. Bir deplasman alanı bulunur. Deplasman vektörü tespit edilip sisteme kuvvet yerine

deplasman vektörü uygulanır. Oluşan gerilme sebebiyle iç kuvvetler ile dış kuvvetler birbirine eşit olarak bulunduğu yakınsama elde edilir. Bu Convergence (yakınsama) işlemine ait çözüm grafiği Şekil 7’ de görülmektedir.

Ansys çözüm işlemi 1 saat 32 dakika sürmüştür. İşlem için 20.7 GB ram kullanılmıştır. 197112 eleman ile çözüm yapılmıştır. Bu işlemler 4114 CPU 2.2 GHZ işlemci ile ANSYS Academic Research Mechanical sürümü ile gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemi sonucunda maksimum gerilme değeri dış dibinde 251.96 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 7. Birikimli iterasyon işlemi



Şekil 8. ANSYS yapısal gerilme analizi

Sonuçlar:

Yapılan bu çalışmada, tredgold yaklaşımı ile analitik dişli hesabı ile konik dişli çiftinin nümerik hesabının gerçekleştirilmesi, hesaplama işlemlerinin birbirlerine göre avantajları ve sonuçların ilişkisi araştırılmıştır. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tredgold yaklaşımı ile sanal düz silindirik dişliler kullanılarak gerçekleştirilen analitik hesap ile ANSYS ile gerçekleştirilen nümerik analiz sonuçları oldukça yakındır. Sonuçlar arasında % 3.2 lik bir fark vardır.
- ANSYS dişli hesabı için özel olarak geliştirilmiş bir yazılım değildir. Maksimum gerilme değerlerinin tespiti yüksek hesaplama kapasiteli bilgisayarlar ve tecrübe gerektirmektedir.
- Analitik hesap elle yaklaşık 15 dakika sürmüştür. Nümerik çözümde katı model oluşturulması, ANSYS tanımlamaları ve tekrarlı çözüm işlemleri ile işlem yaklaşık 8 saat sürmüştür.

- Araştırma sonucunda bilgisayar destekli mühendislik programlarının dişli analizinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilebileceğini ortaya koymuştur.
- FEM tabanlı yazılımlar için çözüm prosedürü iyi tanımlandığında otomatikleştirilmiş çözümler gerçekleştirilebilir.
- ANSYS analizinde dinamik faktörler (Kv), Pik yükler (KA) dikkate alınmaz.
- ANSYS maksimum gerilmenin konumunu ve dağılımını sunar ancak analitik hesapta sadece maksimum gerilme değeri tespit edilmektedir.
- Tredgold yöntemi analitik olarak konik dişli sisteminin basit çözümüne imkan sağlamıştır.

Kaynaklar

- [1] J. Zhan and M. Fard, "Effects of helix angle, mechanical errors, and coefficient of friction on the time-varying tooth-root stress of helical gears," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 118, no. January, pp. 135–146, 2018.
- [2] O. Doğan and F. Karpat, "Crack detection for spur gears with asymmetric teeth based on the dynamic transmission error," *Mech. Mach. Theory*, vol. 133, pp. 417–431, 2019.
- [3] 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.
- [4] T. J. Dolan and E. L. Broghamer, "A photoelastic study of stresses in gear tooth profiles," *Bulletin*, no. 335, 1942.
- [5] P. R. N. Childs, *Spur and helical gear stressing*. 2018.
- [6] K. N. Naik and D. Dolas, "Static Analysis Bending Stress on Gear Tooth Profile By Variation of Gear Parameters With The Help of FEA," vol. 3, no. 6, pp. 132–137, 2014.
- [7] S. Jyothirmai, R. Ramesh, T. Swarnalatha, and D. Renuka, "A Finite Element Approach to Bending, Contact and Fatigue Stress Distribution in Helical Gear Systems," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpe, pp. 907–918, 2014.
- [8] G. Mehta, M. Somani, T. Narendiranath Babu, and T. Watts, "Contact Stress Analysis on Composite Spur Gear using Finite Element Method," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 13585–13592, 2018.
- [9] X. Liu, Y. Yang, and J. Zhang, "Investigation on coupling effects between surface wear and dynamics in a spur gear system," *Tribol. Int.*, vol. 101, pp. 383–394, 2016.
- [10] F. Zheng, M. Zhang, W. Zhang, R. Tan, and X. Guo, "On the deformed tooth contact analysis for forged bevel gear modification," *Mech. Mach. Theory*, vol. 135, pp. 192–207, 2019.
- [11] A. Bahrami Ghahnavieh, S. Akbarzadeh, and P. Mosaddegh, "A numerical study on the performance of straight bevel gears operating under mixed lubrication regime," *Mech. Mach. Theory*, vol. 75, pp. 27–40, 2014.
- [12] D. B. Dooner, M. Vivet, and D. Mundo, "Deproximating Tredgold's Approximation," *Mech. Mach. Theory*, vol. 102, pp. 36–54, 2016.
- [13] M. Vivet, D. Mundo, T. Tamarozzi, and W. Desmet, "An analytical model for accurate and numerically efficient tooth contact analysis under load, applied to face-milled spiral bevel gears," *Mech. Mach. Theory*, vol. 130, pp. 137–156, 2018.

AISI 1040 çeliğinin tornalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu

Optimizing Surface Roughness Through the Genetic Algorithm Method in Machining of AISI 1040 steel by Turning-Milling

Çetin Özay*, Zahide Küçük

¹ Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, cozay@firat.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, zhdekucuk@gmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçişi:

Geliş: 5 Şubat 2020
Düzeltilme: 13 Mart 2020
Kabul: 18 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

Tornalama-frezeleme, yüzey pürüzlülüğü, taguchi metodu, genetik algoritma

ÖZET

Bu çalışmada Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak AISI1040 malzemesinin ortogonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda işleme parametreleri olarak; işlem, kesici takım devri, iş parçası devri, talaş derinliği ve eksenel ilerleme parametreleri seçilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları Minitab15 paket programı kullanılarak S/N oranlarına dönüştürülüp optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. ANOVA varyans analizi ile de istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine bağlı olarak matematiksel modeli oluşturulmuştur. Ayrıca genetik algoritma yöntemi kullanılarak minimum yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametre değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, deneysel çalışmalar, istatistiksel analiz ve optimizasyon işlemlerinde teğetsel tornalama-frezeleme işleminin yüzey pürüzlülüğünü azalttığı belirlenmiştir. Genetik algoritma yöntemi, S/N oranları ve matematiksel modelden elde edilen minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.685119

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 February 2020
Revised: 13 March 2020
Accepted: 18 March 2020

Keywords:

Turning-milling, Surface Roughness, Taguchi Method, Genetic Algorithm

ABSTRACT

In this study, the effects of the cutting parameters on surface roughness in machining of AISI 1040 material through orthogonal and tangential turning-milling methods were investigated using the Taguchi experimental design method. The parameters of process, cutting tool speed, workpiece speed, cutting depth, and axial feed were selected as processing parameters in the experimental studies. The experimental results were converted to S/N ratios using Minitab15 packaged software in order to determine the optimum cutting parameters. They then were statistically analyzed using ANOVA analysis of variance. Using the response surface method, a mathematical model of the surface roughness was created based on the cutting parameters. Additionally, the most suitable cutting parameter values were identified for minimum surface roughness by using the genetic algorithm method. The results revealed that the tangential turning-milling process reduced surface roughness in experimental studies, statistical analysis, and optimization processes. The minimum surface roughness values obtained from the genetic algorithm method, the S/N ratios, and mathematical model were very close to each other.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Çetin ÖZAY

✉ cozay@firat.edu.tr

Giriş

Gün geçtikçe CNC takım tezgâhlarında hassasiyet, verim, karmaşık yapıli parçaların işlenmesi ve işleme hızını artırma amacı ile farklı eksenler tanımlanmakta, farklı geometri ve işleme sahip kesici takımlar tasarlanmaktadır [1,2]. Tornalama- frezeleme yöntemleri de son yıllarda parça ve kesicilerin eş zamanlı hareket etmesine imkân sağlayan yöntemler olarak ortaya çıkmışlardır.

Verimlilik ve kalite yönünden çok kesen ağızlı takımlar daha fazla önem kazanmışlardır. Bu tür uygulamalar genellikle düzlemsel yüzeylere gerçekleştirilir. Tornalama işlemlerinde çok kesen ağızlı takımlar kullanılarak benzer avantajların, özellikle yüksek miktarda talaş kaldırmanın [3], dönel yüzeyler için de elde edilmesi freze takımlarının kullanılmasıyla sağlanabilir. Bu bağlamda tornalama-frezeleme yönteminde kesici takım talaş kaldırma işlemi yaparken birden fazla ağız temas etmektedir, ayrıca kesici takım da döndüğü için iş parçası ve kesici takım ağızları arasında oluşan temas uzunluğu azalmaktadır. Bu azalmadan dolayı kesici takım ağızında oluşacak deformasyon gecikmekte ve oluşacak yüzey pürüzlülüğü de azalmaktadır. Pogacnik ve Kopac, tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin dinamik dengesizliğe olan etkilerini inceleyip tornalama yöntemiyle kıyaslamıştır. Yaptığı çalışmada oluşan merkezkaç kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünde olan farklılığı araştırmıştır [4]. Kopac ve Pogacnik, tornalama-frezeleme işleminde kesici ile iş parçası konumunun ve titreşimin yüzey kalitesi üzerindeki etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [5]. Choudhury ve Bajpai, ortogonal tornalama-frezeleme yöntemindeki farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları bu incelemeler sonucunda ortogonal tornalama-frezeleme yönteminin klasik frezeleme yöntemine kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü oluşturduğunu gözlemlemişlerdir [6]. Savaş ve Özay, genetik algoritma yöntemi kullanarak teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmış ve

kesme parametrelerinin optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışmalarında kesici takım ve iş parçası devrinin artırılmasının belirli bir değere kadar yüzey kalitesini arttırdığını, bu parametrelerin daha yüksek seçilmesi durumunda yüzey kalitesinin düştüğünü ifade etmişlerdir [7]. Lee, ve Chiou, tornalama-frezeleme yöntemi ile eş eksenli olmayan iş parçaları işlemişlerdir. Bu parçaların işlenmesinde uygun kesme şartlarını araştırmışlardır. Eş eksenli olmayan iş parçalarının işlenmesinde tornalama-frezeleme yönteminin tornalamaya göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir [8]. Karagüzel ve diğ., Ortogonal, teğetsel ve eş eksenli tornalama-frezeleme yöntemlerinde kesme kuvvetlerini, daireselliği ve yüzey kalitesi sonuçlarını analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların oluşturulan analitik model sonuçları ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [9]. Ratnam ve diğ., Ortogonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemlerini kullanarak, kesme parametrelerinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin ortogonal yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [10].

Talaşlı imalat sektöründe yapılan deneysel çalışmaların optimum parametrelerinin belirlenmesi amacı ile bazı metotlar kullanılarak matematiksel denklemler oluşturulmakta; optimizasyon programları yardımı ile de optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Optimum parametrelerin belirlenmesi imalat hızı ve kalitesini artırmakta ayrıca maliyeti düşürmektedir. Matematiksel denklemlerin oluşturulmasında yanıt yüzey metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot daha az deney sonucunu kullanarak parametrelerin sonuçla olan ilişkisini ortaya koyan bir denklem oluşturmaktadır. Bu denklem, yapılmamış deneylerde oluşabilecek sonuçların belirlenmesine imkan sağlamaktadır. Belirlenen bu uygunluk denklemi ve parametrelerin sınırları kullanılarak genetik algoritma yöntemi ile optimizasyon yapılmaktadır. Kılıçkap ve Hüseyinoğlu AISI 316 malzemesinin delinmesinde oluşan çapak yüksekliğini yanıt yüzey yöntemi kullanarak matematiksel

modelini oluşturarak genetik algoritma metodu ile optimizasyonunu yapmışlardır. Yapılan çalışmada deneysel ve yanıt yüzey metodu ile elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir [11]. Senthilkumar ve diğ. 4140 çeliğinin derin kriyojenik işlemine tabi tutulmasında minimum aşınma kaybının belirlenmesi amacı ile Taguchi deney tasarım yöntemi kullanarak deney planını hazırlamışlardır. Yanıt yüzey metodu kullanılarak deney sonuçlarından matematiksel bir model oluşturup genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonunu yapmışlardır. Deneysel çalışmalardan ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [12].

Murat ve diğ. Yanıt yüzey metodu ve merkezi bileşik metodu kullanarak sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliğinin tormalamasında kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma neticesinde elde edilen model ve deney sonuçlarının birbirini yakınsadığını belirtmişlerdir [13]. Savaş ve diğ. Taguchi deney tasarım metodu kullanarak 100Cr6 malzemesinin teğetsel tormalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Genetik algoritma yöntemi ile de yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ve genetik algoritma sonuçlarının birine benzer sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [14]. Yağmur ve diğ. Taguchi deney tasarım yöntemi kullanarak AISI 1050 çelik malzemesini kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar

kullanarak farklı kesme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Uygulanan Taguchi yöntemi neticesinde, en uygun parametrenin kaplamalı takım için, kesme hızı 90 m/dak ve ilerleme hızı ise 0,15 mm/dev olarak belirlemişlerdir [15].

Yapılan literatür çalışmalarında tormalama-frezeleme yöntemlerinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve dairesellik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada amaç, taguchi deney tasarım metodu kullanılarak AISI 1040 iş parçasının ortogonal ve teğetsel tormalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırmaktır. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri S/N oranlarına dönüştürülerek optimum parametre seviyeleri belirlenmesidir. Ayrıca yanıt yüzey metodunda ortalama yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modeli oluşturularak genetik algoritma yöntemi ile optimizasyon işleminde optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanım alanı çok geniş olan AISI 1040 malzemesi kullanılmıştır. AISI 1040 taşıt, motor, makine ve aparat yapımında orta zorlamalı parçalarda, cer kancaları, dişliler, miller ve kalıp setlerinde kullanılır. İş parçası boyu ISO 3685 ve TSE 10379 standartlarına göre Ø24x60 mm olarak hazırlanmıştır. Malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1.'de, malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 1040 malzeme özellikleri

Table 1. AISI 1040 material properties

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kesme Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Sertlik (HB)
600	361	410	190-210	25	190

Tablo 2. AISI 1040 malzemesinin kimyasal bileşimi (%)

Table 2. Chemical composition of AISI 1040 material (%)

C	Si	Mn	P mak.	S mak.	Cr	Mo	N
0.40- 0.50	0.25 - 0.35	0.60 - 0.90	0.04	0.05	-	-	-

Kesici takım olarak çapı $\varnothing 20$ mm, uzunluğu 100 mm, 4 ağızlı, helis açısı 30° , uç açısı 6° olan HSS kullanılmıştır. Tornalama-frezeleme deneyleri CNC JOHNFORD WMC 850 FANUC OM dik işleme merkezli freze tezgâhında yapılmıştır. Şekil 1. 'de deneylerde kullanılan deney

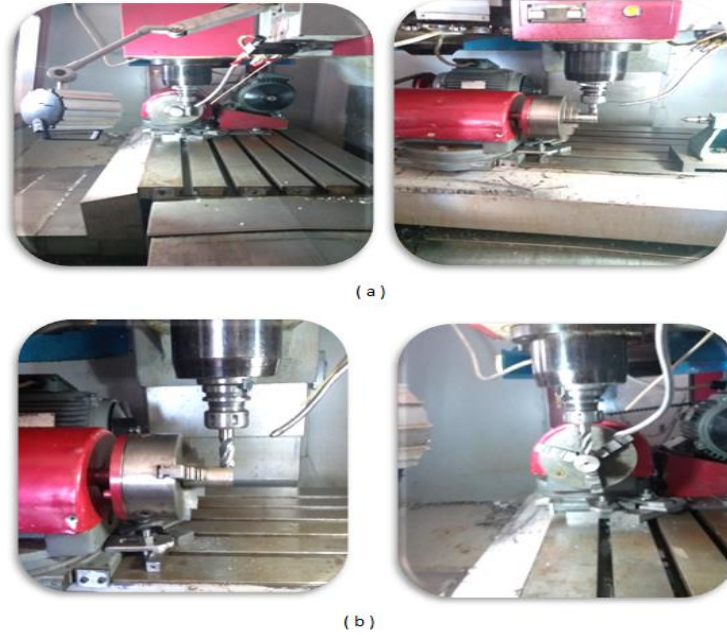
düzeneği ve eksenlerin paralelliğinin kontrol edilmesi gösterilmektedir. İş parçasının salgılı dönmesini önlemek amacıyla komparatör yardımıyla deney düzeneğinin paralelliği kontrol edilmiştir.



Figure 1. Tornalama-frezeleme deney düzeneği ve paralellik kontrolü
Figure 1. Turning-milling test setup and parallelism control

Kesme parametreleri olarak Tablo 3. 'te verilen işlem, kesici takım devri, iş parçası devri, aksenal ilerleme hızı ve talaş derinliği kullanılmıştır. İşlem parametresi ortagonal tornalama-frezeleme yöntemi için 1, teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi için 2 sembolü seçilmiştir.

Şekil 2.'de de işleme yöntemleri gösterilmiştir. Şekil 2.(a)'da kesici takımın iş parçasına temas şekli teğetsel durumda iken Şekil 2.(b)'de ise ortagonal temas durumu gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) Teğetsel tornalama-frezeleme (b) Ortagonal tornalama-frezeleme
Figure 2. (a) Tangential turning-milling (b) Orthogonal turning-milling

Parametrelerin belirlenmesinde şunlar dikkate alınmıştır.

- İşleme yöntemi kesici takımın iş parçasına temas şekli Ortogonal ve teğetsel olarak tanımlanmıştır.
- Malzeme ve kesici takımın devri belirlenirken malzeme özelliklerine göre tablolardan ve tezgâhın özellikleri dikkate alınarak uygun değerler belirlenmiştir.
- Eksenel ilerleme hızı belirlenirken tezgâhın en küçük ilerleme hızı ve daha büyük ilerleme hızları dikkate alınmıştır.
- Talaş derinliği seviyeleri ise genellikle frezelemede kullanılan talaş derinliği seviyelerine göre belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar Tablo 4’de verilen parametre ve seviyeleri dikkate alınarak L₃₆ ortogonal dizinine göre yapılmıştır. L₃₆ ortogonal dizinine göre yapılan deneylerde ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri MİTUTOYO SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazıyla yapılmıştır. Ölçümler silindirik iş parçası V yatağına yerleştirilerek, cihaz ISO 1997 standartlarına göre 0,5 mm/sn ölçme hızı ve 0,8 ölçüm katsayısına göre ayarlanarak yapılmıştır. Ölçümler iş parçası eksenine doğrultusunda ve işleme yönüne paralel olarak yapılmıştır. İşlenmiş yüzeyde silindirik parça her ölçümden sonra bir miktar döndürülerek 3 farklı noktadan ölçüm alınarak daha sonra bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Tablo 3. Deneydeki parametreler ve seviyeleri
Table 3. Parameters and levels in the experiment

Parametreler	Sembol	Seviyeleri		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
İşlem	A	1	2	
Kesici Takım Devri (dev/dak)	B	250	350	450
İş Parçası Devri (dev/dak)	C	140	180	224
Talaş Derinliği (mm)	E	0.1	0.5	1.0
Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)	D	3.2	7,9	12.6

Sonuç ve Tartışma

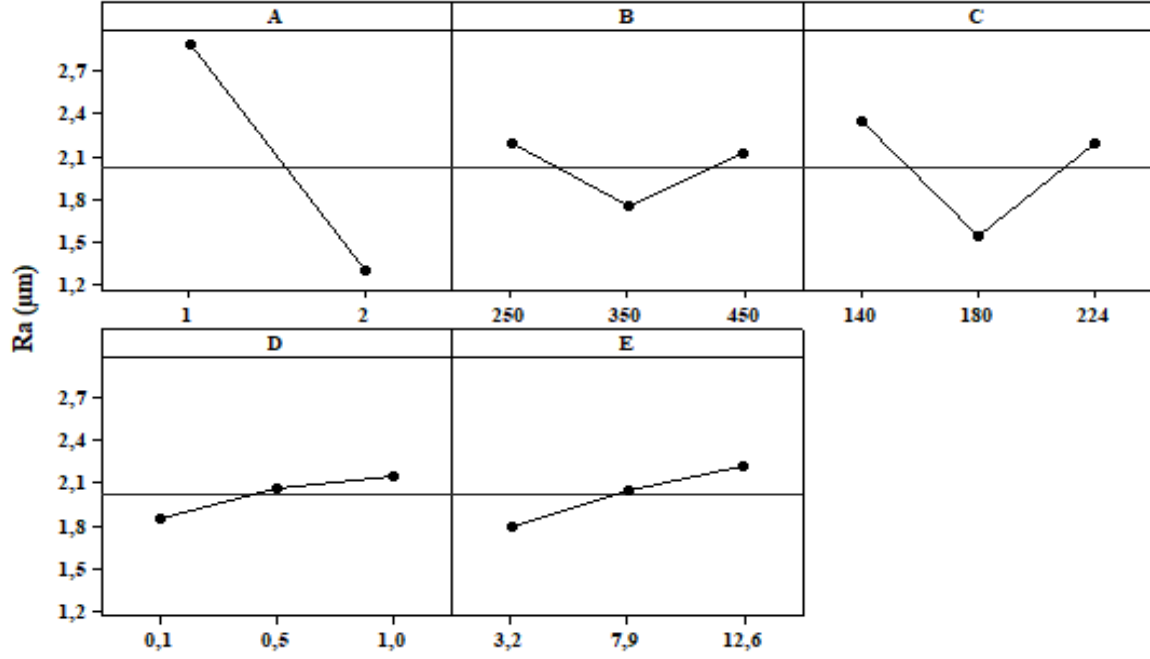
Tornalama-frezeleme yöntemleri iş parçasının ve kesici takımın hareket şekilleri ve birbirine temas durumlarına göre farklılıklar göstermekte ve elde edilen yüzey kaliteleri de değişkenlik göstermektedir. Ayrıca yüzey kalitesine etki eden kesme parametreleri de tornalama ve frezeleme yöntemlerinde etkili olan parametrelerdir. Tornalamada iş parçasının dönme hareketinden dolayı iş parçasının devri önemli bir faktördür. Frezeleme işleminde ise kesici takım devri etkili parametrelerin başında gelmektedir. Frezeleme ve tornalama işlemlerinde talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için eksenel ilerleme hareketinin ve talaş derinliğinin verilmesi gerekmektedir. Tornalama-frezeleme yönteminde bu parametrelerin yanı sıra kesici takım ile iş parçasının temas şekli de elde edilen yüzey

formları ve yüzey kalitesi üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Tablo 4 ve Şekil 3’te belirtilen bu kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi deney tasarımı metodunda L₃₆ ortogonal dizinine göre yapılan deneyler verilmiştir. Şekil 3’te kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri toplu bir şekilde gösterilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde işlem parametresinde kullanılan teğetsel temas şeklinin ortogonal temas şekline göre yüzey pürüzlülüğünü çok önemli bir oranda azalttığı görülmektedir. Ratnam ve diğ. Yapmış olduğu çalışmada teğetsel temas şeklinin ortogonal temas şekline göre takım titreşimini azalttığını ve oluşan yüzey pürüzlülüğü değerinin daha az olduğunu belirtmişlerdir [10]. Kesici takım ve iş parçası devirlerinin ikinci seviyelerine kadar artırılmasında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, bu değer üzerindeki artışlarda ise arttığı görülmektedir. Talaş derinliği

ve aksel kesme parametrelerinin artırılmasında yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Babu ve diğ. Yapmış olduğu çalışmalarda kesme parametrelerinin benzer etkiler gösterdiğini belirtmişlerdir[16].

Tablo 4. L₃₆ ortogonal dizine göre elde edilen deney sonuçları
Table 4. Test results obtained according to L₃₆ orthogonal index

Deney No	İşlem	Kesici Takım Devri (dev/dk)	İş Parçası Devri (dev/dak)	Talaş Derinliği (mm)	Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)	Ort. Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
1	1	250	140	0,1	3,2	3,243
2	1	350	180	0,5	7,9	1,928
3	1	450	224	1,0	12,6	3,847
4	1	250	140	0,1	3,2	3,214
5	1	350	180	0,5	7,9	1,947
6	1	450	224	1,0	12,6	3,791
7	1	250	140	0,5	12,6	3,342
8	1	350	180	1,0	3,2	1,822
9	1	450	224	0,1	7,9	3,530
10	1	250	140	1,0	7,9	3,311
11	1	350	180	0,1	12,6	2,144
12	1	450	224	0,5	3,2	2,642
13	1	250	180	1,0	3,2	2,714
14	1	350	224	0,1	7,9	2,453
15	1	450	140	0,5	12,6	3,572
16	1	250	180	1,0	7,9	2,725
17	1	350	224	0,1	12,6	2,681
18	1	450	140	0,5	3,2	3,420
19	2	250	180	0,1	12,6	1,034
20	2	350	224	0,5	3,2	1,109
21	2	450	140	1,0	7,9	1,650
22	2	250	180	0,5	12,6	1,180
23	2	350	224	1,0	3,2	1,258
24	2	450	140	0,1	7,9	1,274
25	2	250	224	0,5	3,2	1,240
26	2	350	140	1,0	7,9	1,579
27	2	450	180	0,1	12,6	0,966
28	2	250	224	0,5	7,9	1,663
29	2	350	140	1,0	12,6	1,820
30	2	450	180	0,1	3,2	0,625
31	2	250	224	1,0	12,6	2,174
32	2	350	140	0,1	3,2	0,909
33	2	450	180	0,5	7,9	0,957
34	2	250	224	0,1	7,9	1,457
35	2	350	140	0,5	12,6	1,604
36	2	450	180	1,0	3,2	0,809



Şekil 3. İşleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi
Figure 3. Effect of machining parameters on average surface roughness

Şekil 4 incelendiğinde işleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. İşleme parametresinde birinci seviye kesici takım iş parçasına ortogonal olarak temas ettirilerek talaş kaldırmakta ve kesici takımın alın yüzeyindeki ağızları talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmektedir. Kesme şekli kesintili bir kesme işlemi olduğundan oluşan yüzey pürüzlülüğü değeri yüksek çıkmaktadır. İşleme parametresinin ikinci seviyesinde ise kesici takım iş parçasına teğetsel olarak temas ettirilmekte ve kesici takımın çevresel kesici ağızları kesme yapmaktadır. Kesme işleminde kesici takım iş parçası ile sürekli temas halinde olmasından dolayı kesici takım da oluşan titreşimler ortogonal kesme işlemine göre daha az olmasından dolayı elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri düşük olmaktadır.

Şekil 4 ve 5 incelendiğinde kesici takım devrinin ikinci seviyesine kadar olan artışlarda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı bu değer üzerindeki devir artışlarında ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Uygun kesici takım devri işlenen iş parçası malzemesi, kesici takım malzemesi işleme yöntemi kesici takım çapı faktörleri dikkate alınarak aşağıdaki Denklem

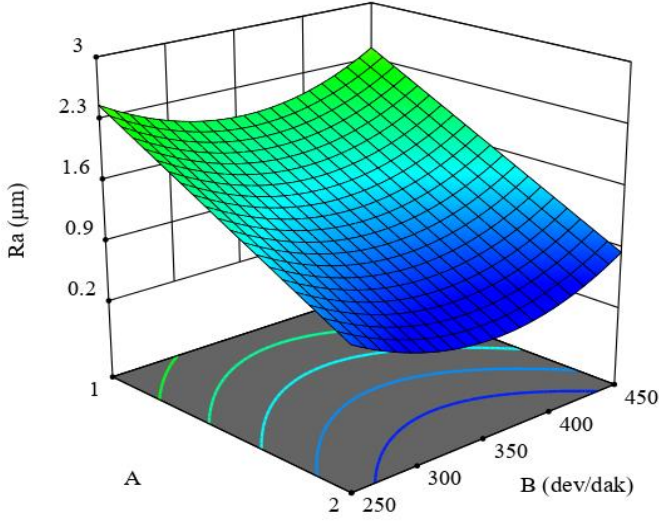
1'den elde edilir. Kesici takım devrinin bu denkleme uygun değeri ikinci seviye değerine denk gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğü bu değere yaklaştıkça azalmakta bu değerden uzaklaştıkça kötüleşmektedir. Şekil 5 incelendiğinde talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Talaş derinliği arttıkça iş parçasından kaldırılan talaş miktarı artmakta, gerekli olan kesme kuvveti artışına bağlı olarak titreşim ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı ifade edilebilir.

Şekil 6'da iş parçası devri ve aksel ilerleme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi görülmektedir. İş parçası devrinin ikinci seviyesine kadarki, artışlarda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı bu değerden uzaklaştıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Tornalama-frezleme yöntemleri, tornalama ve frezeleme yöntemlerinin bir kombinasyonu olduğundan uygun iş parçası devri de tornalama işlemindeki Denklem 1 de verilen kesme hızı formülünden hesaplanmaktadır. Şekil 6 incelendiğinde de seviye ikide verilen değerden uzaklaştıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Aksel ilerleme hızının artması ile birim zamanda kaldırılacak talaş miktarının artması yüzey

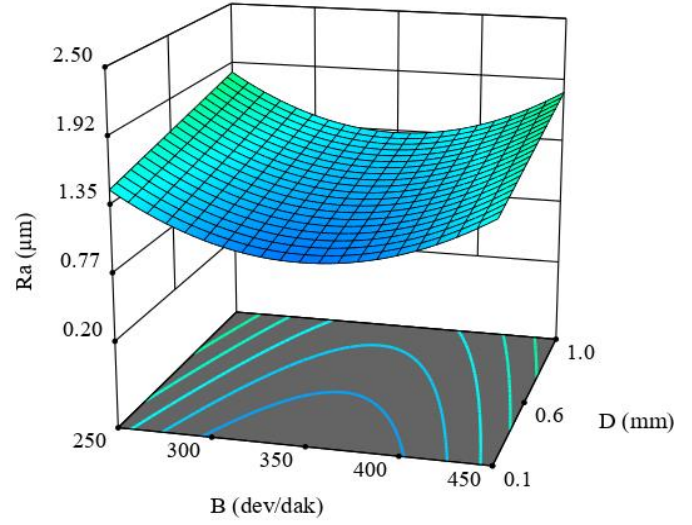
pürüzlülüğü değerini arttırmaktadır. Denklem 1 'de;

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \left(\frac{m}{dak} \right) \quad (1)$$

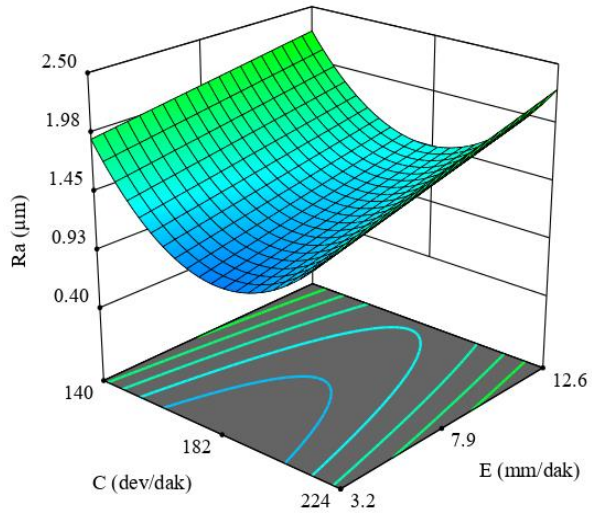
V, kesme hızını, D, iş parçası veya kesici takım çapını, N, ise iş parçası veya kesici takım devrini ifade etmektedir.



Şekil 4. İşleme yöntemi ve kesici takım devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi
Figure 4. Processing method and the effect of cutting tool speed on surface roughness



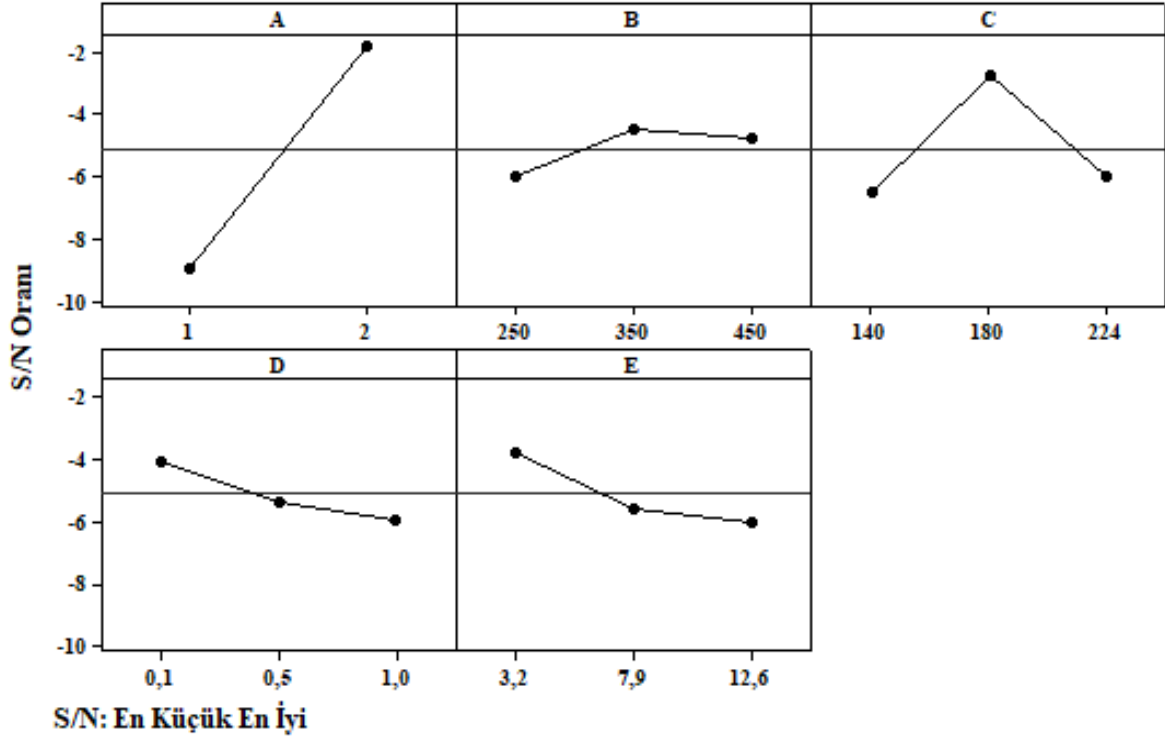
Şekil 5. Talaş Derinliği ve iş parçası devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi
Figure 5. Effect of workpiece revolution and depth of cut on surface roughness



Şekil 6. İş parçası devrinin ve Eksenel ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi
Figure 6. Effect of workpiece revolution and axial feed rate on surface roughness

Şekil 7 incelendiğinde L_{36} ortogonal dizine göre yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri “En Küçük En İyi” performans karakteristiğine göre hesaplanarak S/N oranlarına dönüştürüldüğü ve bu parametrelerde minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler görülmektedir. Her parametre için optimum yüzey pürüzlülüğü değerini, S/N oranının en yüksek değerindeki

seviyesi vermektedir. Yüzey pürüzlülüğünün minimum değeri için optimum parametre seviyeleri A2B2C2D1E1 şeklindedir. Tablo 5’te ANOVA varyans analizi incelendiğinde parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu görülmektedir. İşleme parametresinin diğer parametrelere göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok daha fazla etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 7. İşleme parametrelerinin S/N oranına etkisi
Figure 7. Effect of machining parameters on S / N ratio

Tablo 5. AISI 1040 çeliğinin işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün ANOVA analizi
Table 5. ANOVA analysis of average surface roughness in the processing of AISI 1040 steel

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	% Dağılımı
İşlem	1	465,8483	465,8483	463,6539	69,40766
Kesici takım devri	2	19,62478	9,812388	9,766166	2,630213
İş parçası devri	2	109,2044	54,60219	54,34498	16,0057
Talaş derinliği	2	20,12669	10,06335	10,01594	2,705156
Eksenel ilerleme	2	28,80225	14,40113	14,33329	4,000539
Hata	26	26,12305	1,004733	0	5,250725
TOPLAM		669,7295			100

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve matematiksel modelinin oluşturulması için Minitab 15 paket programında yanıt yüzey yöntemi kullanılarak Denklem 2 oluşturulmuştur. İkinci derece olarak oluşturulan denklemin uygunluk değeri $R^2 = 0,95$ olarak belirlenmiştir. Goal programında yanıt yüzey yöntemi kullanılarak oluşturulmuş, Denklem 2 uygunluk denklemi olarak belirlenmiştir. Sınırlayıcı olarak parametrelerin en küçük ve en büyük değerleri seçilmiştir. Genetik algoritma yöntemi ile yapılan optimizasyon işleminde uygunluk denklemi ve sınırlayıcıların belirlenmesi gerekir. Ayrıca algoritma ait iterasyon sayısı, popülasyon sayısı, çaprazlama tipi, çaprazlama olasılığı, mutasyon oranı gibi değerler önem arz etmektedir. Bu çalışmada iterasyon sayısı 1000, popülasyon sayısı 100, çaprazlama tipi iki noktadan çaprazlama, çaprazlama olasılığı 0,95, mutasyon oranı ise 0,005 seçilmiştir. Genetik algoritma yöntemi ile

yapılan optimizasyon işleminde elde edilen sonuçlar, S/N oranlarına göre belirlenen optimum sonuçlar ve yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bulunan minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ve bu değerleri veren parametrelerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Denklem;

$$Ra = 23.60868 - 1.64593*A - 0.02275*B - 0.17114*C + 0.4928*D + 0.0553*E + 0.0000375*B^2 + 0.00047*C^2 \quad (2)$$

Sınırlayıcılar:

$$1 \leq A \leq 2$$

$$250 \leq B \leq 450$$

$$140 \leq C \leq 224$$

$$0.1 \leq D \leq 1$$

$$3.2 \leq E \leq 12.6$$

Tablo 6. AISI 1040 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün optimizasyon değerleri
Table 6. Optimization values of surface roughness in the processing of AISI 1040 steel

Optimizasyon yöntemi	Parametreler					Sonuç
	A	B	C	D	E	Ra
S/N oranı	2	350	180	0,1	3,2	0,667552
Yanıt Yüzey Metodu	2	350	180	0,1	3,2	0,660115
Genetik Algoritma	2	379,1233	182,20662	0,10018	3,2058	0,6523

Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 1040 malzemesi ortogonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma planı Taguchi deney tasarım yönteminde L_{36} ortogonal dizinine göre seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda işleme parametreleri olarak; işlem, kesici takım devri, iş parçası devri, talaş derinliği ve aksel ilerleme hızı parametreleri seçilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları Minitab15 paket programı kullanılarak S/N oranlarına dönüştürülüp optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. ANOVA varyans

analizi ile de istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine bağlı olarak matematiksel modeli oluşturulmuştur. Ayrıca genetik algoritma yöntemi kullanılarak minimum yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametre değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve incelemelerde şu sonuçlar elde edilmiştir;

- ✓ İşleme yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde %69 etkili olduğu, teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin ortogonal tornalama-frezeleme yöntemine göre yüzey

pürüzlülüğü değerini çok fazla düşürdüğü tespit edilmiştir.

- ✓ İş parçası devri ve kesici takım devri parametrelerinin belirli bir değere kadar arttırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü bu değerden sonraki değerlerde ise yüzey pürüzlülüğü değerini yükselttiği belirlenmiştir.
- ✓ Talaş derinliği ve aksel ilerleme hızı parametre değerlerinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ S/N oranları incelendiğinde işleme parametrelerinin A2B2C2D1E1 seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü değerinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.
- ✓ Varyans analizi incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametresinin en büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- ✓ Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen matematiksel modelin %95 deney sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Genetik algoritma yöntemi, S/N oranları ve matematiksel modelden elde edilen optimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kopac J, Pogacink M., (1997). Theory and practice of achieving quality surface in turn milling. *Int. J. Mach Tools Manuf*, **37**,5 (709–715).
- [2] Pogacink M, Kopac J., (2000). Dynamic stabilization of the turnmilling process by parameter optimization. *Proc Inst Mech Eng*, **214** (127–135).
- [3] Pogacnik M. ve Kopac J., (1997). Dynamic stabilization of the turn-milling process by parameter optimization” *Proceedings of the institution of mechanical engineers*, **214** (127-135).
- [4] Kopac J. ve Pogacnik M., (1997). Theory and Practice of Achieving Quality surface in turn milling *Int. J. Mach. Tools Manufct.*, **37**,5 (709-715).
- [5] Choudhury, S.K. ve Bajpai, J.B., (2005). Investigation in orthogonal turn-milling towards beter surface finish, *Journal of Materials Processing Technology*, **170** (487-493).
- [6] Savas V., Ozay C., (2008). The optimization of the surface roughness in the process of tangential Turn-milling using genetic algorithm, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **37** (335–340).
- [7] Savas V., Ozay C., (2007). Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, **186** (279–283).
- [8] Lee, Y.S., Chiou, C.J., (1999). Unfolded projection approach to machining non-coaxial parts on mill-turn machines, *Computers in Industry* **39** (147-173).
- [9] Kara güzel U., Uysal E., Budak, E., Bakkal M., (2015). Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and mechanics, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **91** (24-33).
- [10] Ratnam, Ch., Arun Vikram, K., Ben, B.S., Murthy, B.S.N., (2016). Process monitoring and effects of process parameters on responses in turn-milling operations based on SN ratio and ANOVA, *Measurement* **94** (221–232).
- [11] Kılıçkap,E., Hüseyinoğlu, M., (2010) Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316’ nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* **1**,1 (71 – 80).
- [12] Senthilkumar D, Rajendran I., (2012). Optimization of deep cryogenic treatment to reduce wear loss of 4140 steel, *Materials and Manufacturing Processes*, **27**,5 (567-572).
- [13] Murat, D., Ensarioğlu, C., Gürsakal, N., Oral, A., Çakır, M. C., (2018). Evaluation of tool wear for hard turning operations through response surface methodology, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* **33**,4 (1299-1308).
- [14] Savas V. Ozay C., (2016). Ballıkaya H. Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method, *Adv. Manuf.*, **4**,1 (97–104),
- [15] Yağmur S., Çakıroğlu R. Acır A. Şeker U., (2017). AISI 1050 çeliğinin delinmesinde kesme kuvvetlerinin taguchi metodu ile optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, **5**,2 241-246,
- [16] Babu G.P., Murthy B., Rao K.V., Kumar K.A., (2017). Taguchi based optimization of process parameters in orthogonal turn milling of ASTM B139, *5th International Conference of Materials Processing and Characterization, Materials Today: Proceedings* **4** (2147–2156)

Kaldırma ve İletme Makinalarında Kullanılan Halatlarının Deneysel ve Nümerik Analizi

Experimental and Numerical Analysis of Steel wires used in Materials Handling Systems

Berna Bolat ^{*}, Birgül Aşçıoğlu Temiztaş², Muharrem Erdem Boğoçlu ³, Burak Bayraktaroğlu ⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi ,Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, balpan@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi ,Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, birgul@yildiz.edu

³ Yıldız Teknik Üniversitesi ,Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, bogoclu@yildiz.edu.tr

⁴ TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, Bursa, burak.bayraktaroglu@mno.org.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 19 Şubat 2020

Düzeltilme: 6 Haziran 2020

Kabul: 3 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Krenler, Halatlar, Malzeme Taşımacılığı, Nümerik Analiz

ÖZET

Çelik halatlar, esneklikleri ve yüksek mukavemete sahip olmaları sebebiyle yük kaldırma makinalarında en çok kullanılan elemanlardır. Bir öz etrafına sarılmış birçok ince telden oluşmuşlardır. İnce teller karmaşık geometrik yolları izleyerek bir araya gelirler ve halatı oluştururlar. Bu nedenle tel halatlar, sanayide yüksek dayanıma sahip yük kaldırma elemanlardır. Bu çalışmada küçük çaplı halatlar için hem deneysel çalışma hem de nümerik olarak modelleme yapılmış ve modelin doğruluğu tespit edilmiştir. Büyük çaplı halatlarda deneysel olarak halatı koparmak çok zor ve maliyetli olduğu için bilgisayar ortamında üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve modele eksenel kuvvetler uygulanarak, yük altında uzamaları tespit edilmiştir. Analiz programı yardımıyla çelik halat modellerinin analizleri gerçekleştirilerek deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine uyumlu oldukları görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.691208

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 Feb. 2020

Revised: 6 June 2020

Accepted: 3 July 2020

Keywords:

Cranes, Ropes, Material Transportation, Numerical Analysis

ABSTRACT

Steel ropes are the most used elements in load lifting machines due to their flexibility and high strength. They consist of many thin strings wrapped around a core. Thin strands come together following complex geometric paths and form the rope. Therefore, wire ropes are load-lifting elements with high strength in the industry. In this study, both experimental and numerical modeling was done for small diameter ropes and the accuracy of the model was determined. Since it is very difficult and costly to apply the tensile load experimentally in large diameter steel ropes, three-dimensional models were created in the computer environment and axial forces were applied to the models and their elongation under load was determined. With the help of the analysis program, the analysis of the steel rope models was carried out and it was concluded that the results were compatible with each other by comparing with the experimental values.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Berna BOLAT

✉ balpan@yildiz.edu.tr

Giriş

Tel halatlar, esneklikleri ve yüksek mukavemete sahip olmaları sebebiyle yük kaldırma makinalarında en çok kullanılan elemanlardır. Bir öz etrafına sarılmış şekil bağı ile bir arada duran birçok ince telden meydana gelen halatlarda, yükün eşit olarak paylaştırılması ve büyük eksenel yükleri düşük eğilme ve burulma rijitliği ile taşımaları beklenilmektedir. Esnek yapıları, makara veya tamburlar üzerinde bükülüp, sarılmalarına imkân verir. Sağladıkları bu avantajlar nedeniyle kren sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

Çelik halatla ilgili literatürde hem deneysel hem de nümerik çalışmalar mevcuttur. İmrak ve Erdönmez [1] tarafından yapılan nümerik ağırlıklı bir çalışmada çelik halat modelleri oluşturularak halatı oluşturan tellerin denklemleri çıkartılmıştır. Rotaları çizilip ağ yapıları oluşturulan modelin analizi sonucunda, eksenel yönde uygulanan kuvvetin halatı etkilediği bunun ana nedeninin halat içindeki boşluklardan kaynaklandığı belirtilmiştir. İmrak ve Salman [2] bir diğer çalışmada, test numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanabilmesi için farklı yöntemler denemiş ve yöntem sonuçlarını listelemişlerdir. Halat çekme deneyi sonucunda uygulanan yöntemler arasında en iyi sonucun uçlara yapılan çinko döküm işlemi sonucu olduğu tespit edilmiştir.

Nümerik ve deneysel karşılaştırmalı bir başka çalışmada, Stanova ve arkadaşları [3] sırasıyla halata ait CAD tasarımı oluşturup sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu modelde halatı oluşturan teller tek tek tasarlanıp montaj işlemiyle birleştirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise; 6x19 çelik halatlar üzerinde çalışılmış ve oluşturulan CAD modelleri ile yapılan analiz sonuçları çekme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı sarım tiplerine sahip aynı ölçülerdeki halatların analiz sonuçları ve farklı halat boyları için yapılan test işlemi sonucu ölçülen boyca uzamalar,

bilgisayar analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [4].

Bir diğer çalışmada, 7x7 ve 7x19 boyutundaki halatlar modellenerek, farklı temas koşulları için analizleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Tek bir sarımdan oluşan halatlarda temas koşullarının değişiminin boyca uzama üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı, fakat çok sayıda sarımdan oluşan halatlarda temas koşullarındaki değişimin boyca uzamayı değiştirdiği bu çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçlarından görülmektedir [5].

Malzeme farkını irdeleyen bir diğer çalışma Wenzheng tarafından 6x36 boyutunda, çelik özlü olmayan bir halat için yapılmıştır. Halatın CAD tasarımı oluşturulmuş ve analiz programıyla gerilme dağılımı ve deformasyon değerleri incelenmiştir. Bu çalışmada halatın özünü oluşturan kısım için ayrı malzeme tanımları kullanılmıştır [6].

Diğer bir çalışmada halatın boyut ve malzeme özellikleri yanında farklı sarım açıları da irdelenmiş; analitik çözümler ile bilgisayar analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada sarım açısının halat üzerindeki etkisi gösterilmiştir. [7].

Yaptığımız bu çalışmada, 3mm, 8 mm ve 18 mm çapa sahip halatların bilgisayar ortamında çekme testlerinin yapılabilmesi için, üretim sonrası ölçüleri dikkate alınarak Solidworks® CAD programı ile model oluşturulmuş, Ansys® yazılımı kullanarak analizleri yapılmıştır. Ayrıca 3 ve 8 mm halatların çekme deneyi yapılarak kopma yükleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada deneysel çalışmalar ile nümerik çalışmaların karşılaştırılması 3mm ve 8mm çaplar için yapılmış ve modelin doğruluğu tespit edilmiştir. 18mm halatlar için deneysel çalışmada halat koparılması için çalışılmış ancak halatın genellikle çene kısmına bağlantı yerlerinde deformasyona bağlı kopma görüldüğü için sonuçlar alınamamıştır. Bu problemi çözmek için halat uç kısımlarına çinko döküm yapılmış ancak

yine kaymalar gözlemlenmiştir. Bu nedenle 18mm çaplı halat için yapılan bu deney sonuçları bu çalışmada verilmemiş, sadece deneysel verilerden ve Costello [8] teoreminden oluşturulan grafik eğimi referans alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmada amaç kopma yükü tespit edilemeyen kalın çaplı halatlara ait kopma dayanımı değerlerinin nümerik yöntemlerle tespit edilebilmesini sağlamaktır.

Materyal ve Yöntem

- Çalışmada 3mm, 8mm ve 18mm çapa sahip çelik halatların aksel yük altındaki davranışları ele alınmıştır.
- Test ve analiz yöntemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar;
 - o Halatların modellenmesi
 - o Halatın Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi'dir.
- Sonlu eleman modeli kopma yükü ve deformasyon değerleri için tüm çaplar için uygulanırken; deneysel çalışmada tüm farklı çaplar için aksel yük altındaki davranış elde edilememiştir. Deneysel çalışmada 3mm ve 8 mm çapa sahip halat numuneleri kopma cihazına bağlanmış ve farklı yükler etkisi altında kopma dayanımı ve deformasyon değerleri ölçülmüştür. Bu çelik halatların hem kopma yükü hem de deformasyon değerleri elde edilmiştir. Aynı çalışma 18mm çapa sahip çelik halat için tekrarlanamamıştır.
- Deney 3mm ve 8mm için yapılırken, aynı deneyin 18mm çapa sahip halat numunesi için yapılamaması nedeni; halatın bağlantı noktalarında oluşan gerilme yığılmaları nedeniyle halatın bağlantı noktalarından kopmasıdır. Bunu önlemek amacıyla farklı tasarımlar denenmiş ancak testler esnasında bağlantı noktalarındaki kayma ve ideal bağlantı tipinin saptanamaması deneyin yapılmasını daha da zorlaştırmıştır. Bu sorunları aşabilmek için özel ekipman ve tasarımlara ihtiyaç duyulmuş bu da maliyeti arttırmıştır. Bu nedenle bu çalışmada deneysel olarak 18mm çapa sahip

halatların kopma yükü ve deformasyon değerleri elde edilememiştir.

- 3mm ve 8 mm çaplara sahip çelik halatlar için sonlu elemanlar modeli ile deneysel verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonlu elemanlar modeli sarımların hem sürtünmeli hem de sürtünmesiz bağla temas ettirilmesiyle oluşturulmuştur. Bunun nedeni temas bölgesindeki belirsizliklerdir. Yüklemeye bağlı sarımlar birbiriyle temas edebilir ya da etmeyebilir. Bu nedenle iki durumu da ortaya koyan bir model oluşturulmuştur.
- Sonuç olarak farklı tiplerdeki halatların telleri arasındaki çeşitli temas ve sürtünme kabulleri için yük-uzama grafikleri oluşturulmuştur.

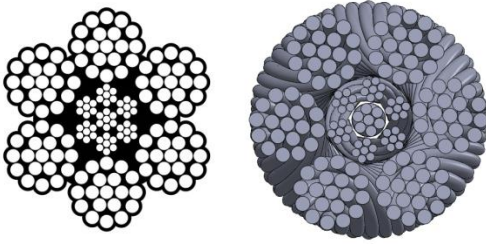
Halatın Modellenmesi

Çelik halatlar genellikle bir öz etrafına belli bir düzende sarılmış çelik tellerden oluşur. Bu çalışmada, modelin oluşturulması için 6x19 IWRC model halat ele alınmıştır. Referans halat bağımsız çelik özlü, her biri 19 adet telden oluşan 6 kordondan, düzenli sarıma sahip, sağ sarımlı bir halattır. Her biri 6 adet telden meydana gelen 6 sarımla birlikte, 6 adet telden meydana gelen en iç sarım halatın çelik özünü oluşturmaktadır. Modellemede Solidworks® yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada 3mm, 8mm ve 18 mm için üç farklı model oluşturulmuştur. Kullanılan tüm ölçüler üretilmiş halat üzerinden alınarak çizim programına girilmiştir. Halat malzemesi olarak kullanılan çelik Halat/İzmit üretimi olup; seri numarası 1270-16'dır. Halata ait sonlu elemanlar modelinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. Malzeme özellikleri

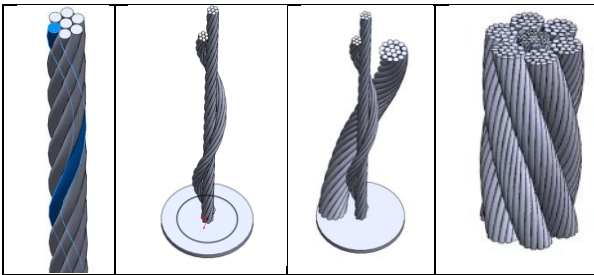
Simge	Özellik	Alınan Değer
E	Elastisite Modülü	190000 N/mm ²
ρ	Yoğunluk	7850 kg/m ³
ν	Poisson oranı	0,3
μ	Sürtünme Katsayısı	0,1

Tasarlanan halatın kesit görünüşü ise Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan halatın kesit görünüşü

Modellerin oluşturulması amacıyla her bir sarım, sarımın ortasından geçen rotaya göre süpürülürken, aynı zamanda kendi etrafında döndürülmüştür. Merkez sarımı oluşturan dış teller 20 mm mesafede tam bir tur atacak şekilde bükülmüşken, en dış sarımı oluşturan dış teller 31,25 mm mesafede bir tam tur atmaktadır. Ayrıca, dış sarım iç sarımlar etrafındaki bir tam dönüşünü 120 mm mesafede tamamlamaktadır. Dış sarım, iç sarımlar etrafında 120 mm halat en iç sarımdan başlayarak dış sarımlara doğru modellenmiş ve sarımlar aksenal çoğaltma komutuyla çoğaltılarak halat oluşturulmuştur (Şekil 2.)



Şekil 2. Halatın modelinin oluşturulması

Halatı oluşturan sarımlar eklendikçe, model karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Model 1 olarak isimlendirilen tasarım 7 katı gövdeden oluşurken, Model 2 halat 49 katı gövdeden, Model 3 halat ise 163 katı gövdeden oluşmaktadır. (Şekil 3.)

	Model 1: 3mm çaplı halat	Model 2: 6 mm çaplı halat	Model 3: 18 mm çaplı halat
Üstten Görünüş			
Yandan Görünüş			

Şekil 3. Model (1-3) halatlar

Halatın Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi

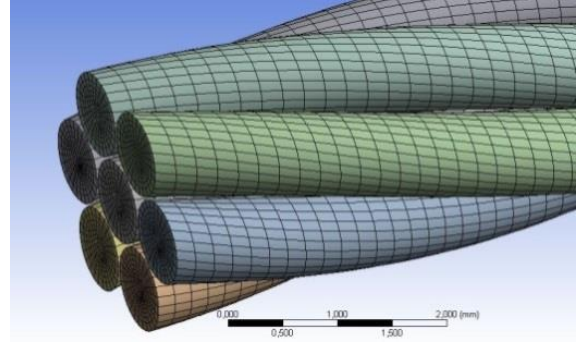
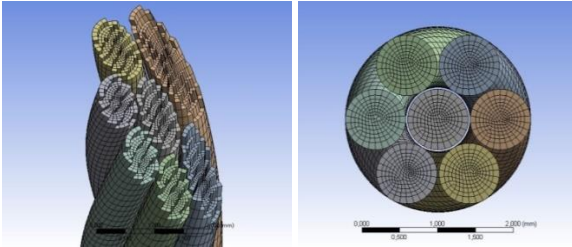
Halatın bilgisayar ortamındaki testleri ANSYS® Workbench yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmış ve modelde aksenal çekme kuvveti analizleri gerçekleştirilmiştir. ANSYS Workbench yazılımında Structural Analysis modülü kullanılarak lineer analiz yapılmıştır. Yapılan işlemler sırasıyla modeli oluşturma, ağ yapılarına bölme, sınır şartlarını atama ve zorlanma tiplerini belirleme işleminden sonra sonuç olma işlemidir. SOLIDWORK' s de geometri oluşturulduktan sonra, model ANSYS ortamına taşınmış ve sonrasında mesh (ağ oluşturma) gerçekleştirilmiştir. Meshleme işlemlerinde “mesh sweeping metod” kullanılmıştır. Bu teknik kullanılarak, gövdeler hexahedral elemanlarla ayrılmıştır. Swept body metoduyla oluşturulan mesh yapılarında, eleman ve düğüm noktası sayısı daha az olmaktadır. Bu nedenle parçanın sonlu elemanlara ayrılması daha az zaman almıştır.

Yapılan çalışmada temas durumları, yüzeyler tamamen birbirine bağlı “Bonded” veya sürtünmeli temas durumu “Frictional” olarak seçilmiştir. Bunun nedeni temas bölgesinin tam olarak kestirilememesi nedeniyle.

Temas bölgesi temas edebilir ya da etmeyebilir. Bunun yanında model karmaşıklıkla temas yüzey sayısı artmakta ve çözüm zorlaşmaktadır. Model 1'deki halat için 13 temas yüzeyi tanımlanırken, Model 3'teki halat için 383 temas yüzeyi tanımlanmıştır.

Çekme testi işlemi incelendiğinde, halatın cihaza sabitlenmiş olan uçları dönme hareketi yapamayacağından, halat sadece çekme yönünde uzayacaktır. Sonlu elemanlar yönteminde eleman boyutu sonucu etkileyen en önemli parametrelerdendir. Olması gerektiğinden daha az elemanla analiz işlemi gerçekleştirildiğinde, değerler yakınsamadığından sonuç bulunamamakta veya hatalı sonuçlara ulaşılmaktadır. Eleman boyutu çok küçük seçildiğinde ise, daha çok eleman ve düğüm noktası nedeni ile çözüm süresi oldukça uzamaktadır. Çözüm zamanını azaltmak için sınır koşullar sabit tutularak mesh boyutu optimize edilmiş ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlara ayırma işlemlerinde “mesh sweeping method” kullanılmıştır. Bu metoda göre gövdeler etkin bir şekilde hexahedral elemanlarla ayrılmaktadır. Swept body metoduyla oluşturulan mesh yapılarında, eleman ve düğüm noktası sayısı az sayıda tutulabilmektedir [9]. Bu nedenle parçanın sonlu elemanlara ayrılması daha az zaman almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Halatın mesh yapısı

Kullanılan sonlu elemanlar yirmi düğüm noktasına sahiptir ve her düğüm noktasının x, y ve z ekseninde üç serbestlik derecesi vardır (Tablo.2).

Tablo 2. Eleman ve node sayıları

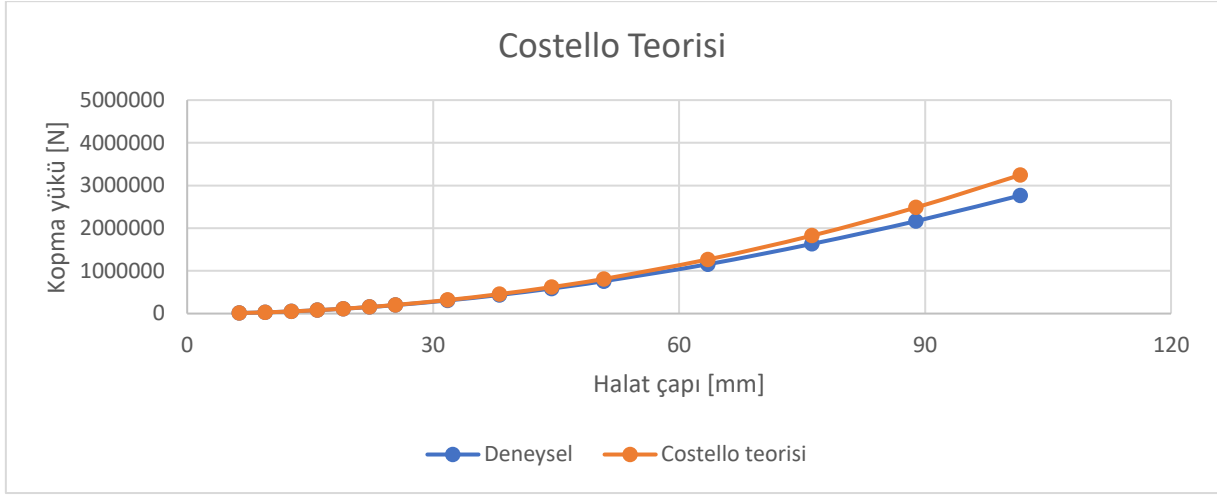
Model No	Eleman Sayısı	Node sayısı
1	256822	1090723
2	328565	1444754
3	531340	2520256

Sonuçlar ve Tartışma

- Bu çalışmada hedeflenen amaç; büyük çaplı halatlarda deneysel olarak kopma yükü ve deformasyon değerlerinin elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda nümerik yönteme başvurulmasının tartışılmasıdır.
- Bu nedenle 3mm, 8mm ve 18mm çapa sahip halatların aksenal yük etkisi altındaki davranışları; hem deneysel (18 mm'lik halat hariç) hem de nümerik olarak incelenmiş ve kopma yükü ve deformasyon değerleri elde edilmiştir.
- Deneysel çalışmada 3mm çaplı halat ve 8mm çaplı halat için farklı çekme yükü etkisi altında deformasyon değerleri ölçülüp kopma dayanımı değeri elde edilmiştir. Aynı deney 18mm çaplı çelik halat için de tekrarlanmış ancak halatın bağlantı noktalarındaki gerilme yığılmalarından ötürü deney gerçekleştirilememiş ve kopma yükü ve deformasyon değerlerine ulaşamamıştır.

- Deneyde uygulanan çekme yükü değerleri her halat için, hem Costello [8] teorisi hem de çeliğe ait kopma yükü ve kesit alanı baz alınarak etki ettirilmiştir. Costello çalışmasında hem deneysel hem de teorik olarak farklı halat çapları için kopma yükü değerlerini karşılaştırmalı vermiştir. Costello'nun çalışmasında ayrıca görünen teorik ve deneysel olarak hesaplanan kopma yükü değerleri arasındaki farkın

halat çapının belli bir değerinden sonra oldukça artmasıdır. Aşağıda verilen grafik bu durumu göstermektedir. Yani Costello'ya ait çalışmada da deneysel ve teorik veriler halat çapının belli bir değerinden sonra oldukça farklılık göstermektedir. Bu durum nümerik yöntemin özellikle büyük çaplar için kullanılmasının tartışılması gerektiğini ayrıca göstermektedir.



Şekil 5. Costello'ya göre çapma yüküne bağlı kopma yükü değerleri [8]

- 3mm ve 8mm çelik halatlar için elde edilen kopma yükü değerleri aşağıda tablo halinde verilmiştir. Deformasyon değerleri hesaplanırken bulunan bu kopma yükü değerleri referans alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı halat çapına bağlı kopma yükü değerleri

Halat çapı [mm]	Kopma yükü [N]
3	4094
8	20470

- 3mm çaplı çelik halat için elde edilen deneysel uzama değerleri ise şu şekildedir. Deney 1000N'dan başlanılarak 3000N'a kadar 3 kez tekrarlanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Model 1 için elde edilen deneysel yüzde uzama oranları

Yük[N]	Deneysel Uzama[mm]	%Uzama
1000	0.0033	0.00825
2000	0.0058	0.01450
3000	0.0092	0.02300

- 8mm çaplı çelik halat için elde edilen deneysel uzama değerleri ise şu şekildedir. Deney 3000N'dan başlanılarak 21000N'a kadar 7 kez tekrarlanmıştır (Tablo 5).

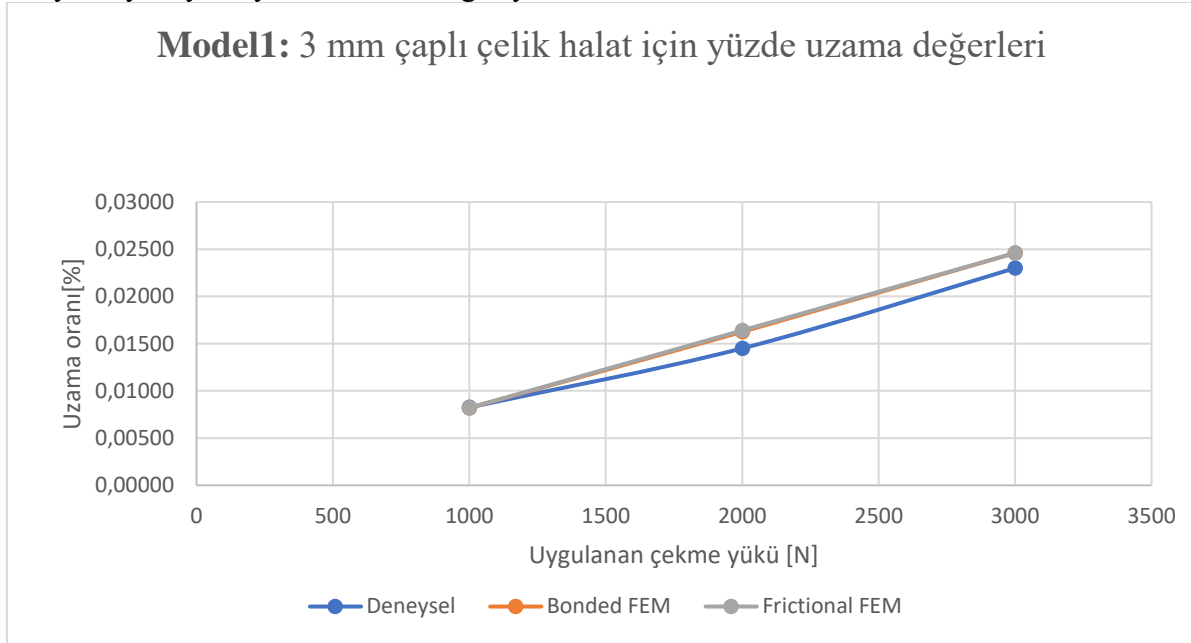
Tablo 5. Model 2 için elde edilen deneysel yüzde uzama oranları

Yük[N]	Deneysel Uzama[mm]	%Uzama
3000	0.0020	0.00500
6000	0.0033	0.00825
9000	0.0046	0.01150
12000	0.0059	0.01475
15000	0.0070	0.01750
18000	0.0083	0.02075
21000	0.0097	0.02425

- Sonlu Elemanlar paket programı ANSYS Workbench kullanılarak çelik halatlara ait deformasyon değerleri hem 3mm çaplı çelik halat, hem 8mm çaplı çelik halat ve son olarak da 18mm çaplı çelik halat için farklı yük etkileri altında çalışılmıştır. Model oluşturulurken iki farklı temas durumu, uygulanmıştır. Bunlar tam bağlantılı (bonded) ve sürtülmeli (frictional) yüzey teması tipleridir.
- Şekil 6'da Model 1 olarak tanımlanan 3mm çaplı çelik halatın çekme yükü altındaki yüzde uzama miktarları hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde kullanılan iki farklı temas tipi için verilmiştir. Model 1 için kuvvet etkileyen yüzey sayısı 7'dir. Bilgisayar

modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı 3,52 mm²'dir. Diğer gerilmelerin dikkate alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Deneylerde halatın kopma yükünün, 4094 N olduğu görülmüştür. Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda ise tam bağlantılı (bonded) ve

sürtülmeli (frictional) yüzey temas koşullarında halat tellerindeki boyca uzamalar arasında kayda değer bir fark olmadığı tespit edilmiştir. İki model tipi de deneysel sonuçlara oldukça yakındır.

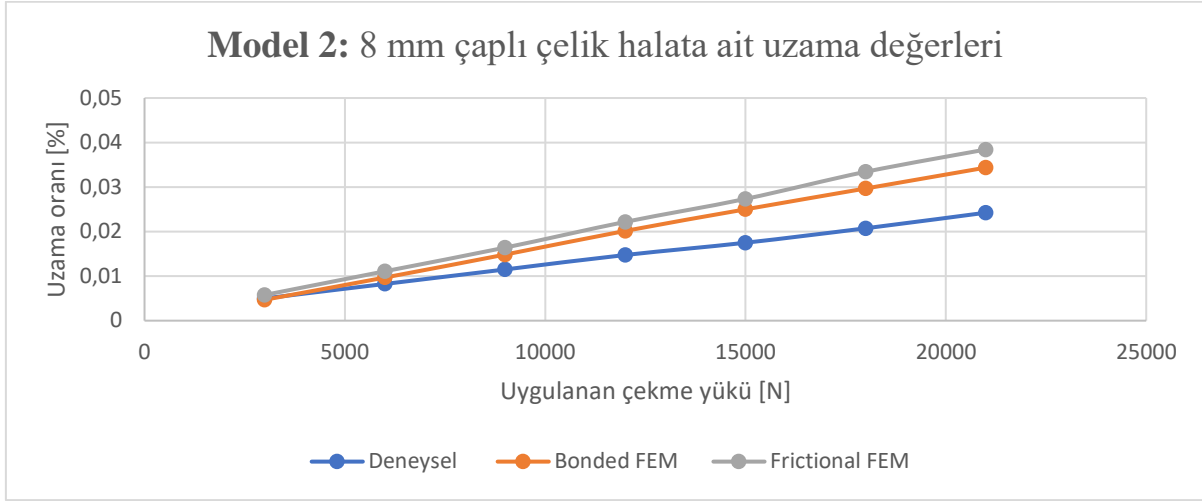


Şekil 6. Model 1 için farklı çekme bağlı yüküne deneysel ve nümerik uzama oranları

Şekil 7'de gösterilen grafikte görüldüğü gibi 8mm çaplı halat için uygulanan çekme yükü altındaki uzama oranları yüzde olarak hem deneysel hem de sonlu elemanlar yönteminde kullanılan iki farklı temas tipi için verilmiştir. Model 2 için kuvvet etkileyen yüzey sayısı 49'dur. Model 2 halat için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı

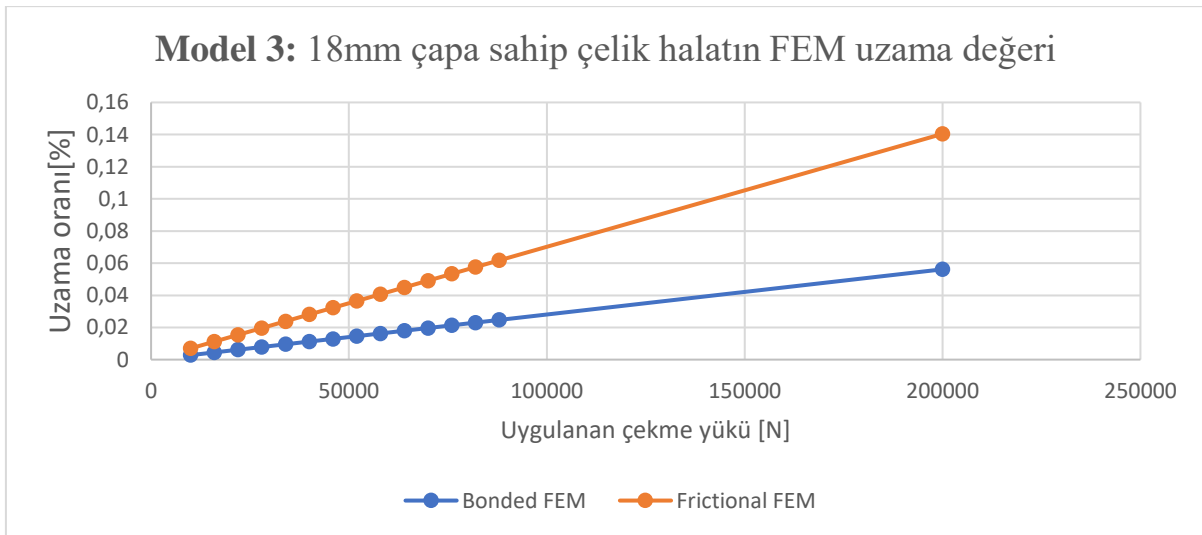
19,49 mm²'dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Halatın kopma değeri deneysel olarak yapılan çalışmada 20470N olduğu görülmüştür. Nümerik analiz sonucunda sürtülmeli yüzey temasında boyca uzama değerinin daha fazla olduğu tespit

edilmiş ve bonded tipi modelin deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür.



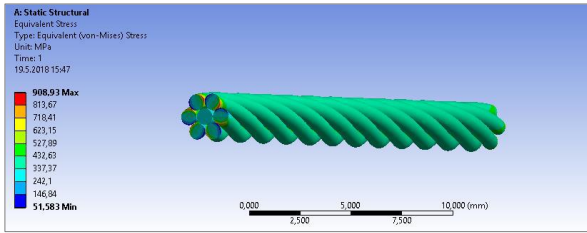
Şekil 7. Model 2 için farklı çekme bağlı yüküne deneysel ve nümerik uzama oranları

- Şekil 8’de gösterilen grafikte görüldüğü gibi 18mm çaplı halat için uygulanan çekme yükü altındaki uzama oranları yüzde olarak yalnızca sonlu elemanlar yönteminde kullanılan iki farklı temas tipi için verilmiştir. Model 3 için kuvvet etkileyen yüzey sayısı 163’dür. Bonded ve frictional temas tipi arasındaki fark halat çapı arttıkça etkileyen yüzey sayısının artmasına bağlı olarak artmaktadır.
- Model 3 halat için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı 127,3 mm²’dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Sürtüneli yüzey temasında boyca uzama daha fazladır.

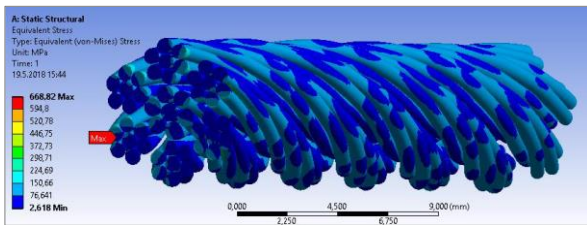


Şekil 8. Model 3 için farklı çekme yüküne bağlı nümerik uzama oranları

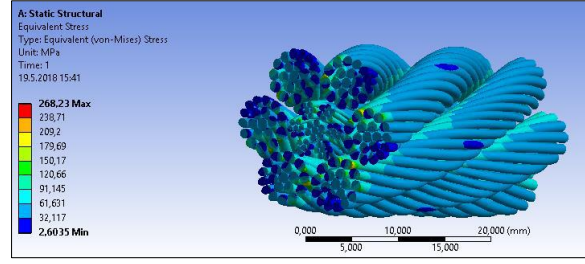
- Deneysel 18mm çaplı halat için tekrarlanamadığı için nümerik analiz sonuçlarını karşılaştırma imkânımız bulunmamaktadır. Ancak 3mm çaplı çelik halat ve 8mm çaplı çelik halat için elde edilen grafiklerdeki değişim değerleri referans alındığında, deneysel verilerin bonded tipi nümerik modele daha yakın sonuçlara sahip olabileceği görülmektedir.
- Test sonucunda elastik modülünün her kopma yükü değeri için az da olsa farklılık gösterdiği bunun da sarım etkisi nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum analize dâhil edilmemiştir.
- Bonded ve frictional contact olarak modellenen yapıdaki değişiklikler gözlemlenmiş ve bonded yapının test sonucuna daha yakın olduğu test sonuçlarında ortaya koyulmuştur. Bu tip yapılarda bonded tipi contact yapılması hem analiz süresi hem de işlemlerin sadeleştirilmesi açısından önem taşımaktadır.
- Aşağıda üç farklı model için, farklı yük etkisi altında elde edilen eşdeğer gerilme değerleri verilmiştir. Bu değerler bonded temas tipi için elde edilmiştir.



Şekil 9. Model 1 için 2000N altında oluşan eşdeğer gerilme durumu



Şekil 10. Model 2 için 4000N altında oluşan eşdeğer gerilme durumu



Şekil 11. Model 3 için 10000N altında oluşan eşdeğer gerilme durumu

- Yukarıdaki sonuçlarda bonded tipi kontakın gerilme analizlerinde tutarlı olduğu gösterilmiştir. Kopma gerilmesine testlerdeki uzama değerinde ulaşıldığı için bu tip kontak tanımı ile yapılan analizlerde elde edilen gerilme ve uzama değerlerle doğru sonucu ulaşılmıştır.
- Sonuç olarak deneysel olarak kopma yükü ve deformasyon değerleri tespit edilemeyen 18mm çapa sahip halatın kopma yükü ve deformasyon değerlerinin düşük bir hata payıyla nümerik çalışmayla da tespit edilebileceği analiz sonuçlarından görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] İmrak, E., Erdönmez, C., (2010), On The Problem of Wire Rope Model Generation With Axial Loading, Mathematical and Computational Applications, Vol. 15, No. 2,:259-268
- [2] İmrak, E., Salman, Ö., (2010), Taşıyıcı Halatların Deneysel Gerilme Analizi, Asansör Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2010, İzmir
- [3] Stanova, E., (2011), Computer Modelling of Wire Strands and Ropes Part II: Finite Element-Based Applications, Advances Engineering Software, 42:322-331
- [4] Jun, MA., (2008), Distribution of Wire Deformation Within Strands of Wire Ropes, J China Univ Mining & Technology, Volume:18, No:3
- [5] Kastratović, G., Vidanović, N., (2015), 3D Finite Element Modeling of Sling 80 Wire Rope In Lifting and Transport Processes, Transport, 2015 Volume 30(2): 129–134
- [6] Wenzheng, Du., (2017), Finite Element Analysis of the Stress State of Rope Hoisting Equipment based on the ABAQUS, 2017 8th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, 03-06 Ocak 2017, Cape Town
- [7] Ghoreishi, SR., (2007), Validity and Limitations of Linear Analytical Models for Steel Wire Strands Under Axial Loading, Using a 3D FE Model, International Journal of Mechanical Sciences; Volume 49:1251-1261
- [8] Costello, G.D., (1997) Theory of wire rope, Mechanical Engineering Series, Springer
- [9] Delta, General and High Performance Wire Rope.(2018),<http://www.deltarigging.com/doc>

Sıra-Bağımlı Hazırlık Zamanlı Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Çözümü İçin Bir Diferansiyel Gelişim Algoritması

A Differential Evolution Algorithm for The Solution of General Assembly Line Balancing Problems with Sequence-Dependent Setup Times

Şehmus Aslan^{1*}, Mehmet Aytekin²

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, İşletme Bölümü, Mardin, sehmusaslan@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1886-3421

² Gaziantep Üniversitesi, İşletme Bölümü, Gaziantep, aytekin@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5464-0677

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 26 Şubat 2020

Düzeltilme: 21 Nisan 2020

Kabul: 27 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Montaj hattı dengeleme, sıra-bağımlı hazırlık zamanlı, diferansiyel gelişim algoritması

ÖZET

Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (BMHDP) ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak BMHDP’de bulunan kısıtlardan dolayı yapılan akademik çalışmalar ve endüstrideki uygulamalar arasında büyük bir boşluk bulunmaktaydı. Bu boşluğun kapatılması için Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (GMHDP) adı altında daha çok endüstrinin pratik sorunlarını çözmeye yönelik çalışmalar başlamıştır. Otomotiv ve elektronik sektöründe sıkça rastlanan sıra-bağımlı hazırlık zamanları, daha önce yapılan Montaj Hattı Dengeleme (MHD) çalışmalarında ele alınmamıştır. Daha önceleri, MHD çalışmalarında hazırlık zamanları, istasyon zamanlarına eklenerek problemler çözülmüyordu. Bu yaklaşım sorunu çözmede yetersiz kaldığı için sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP çalışmaları ortaya çıkmıştır. Sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP, NP-zor yapıda ve çok karmaşık problemler olduğundan çözümü için lineer programlama ve dal-sınır algoritması gibi belirli (deterministik) yöntemler, makul zamanlarda çözüm üretmemektedir. Bu çalışmada ise problemlerin çözümünde bir metasezgisel yöntem olan yeni bir Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) geliştirilmiştir. Geliştirilen DGA’nın performansı literatürdeki test problemleri üzerinde denenmiş ve literatürde daha önce geliştirilmiş sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Doi: 10.24012/dumf.694846

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 February 2020

Revised: 21 April 2020

Accepted: 27 April 2020

Keywords:

Assembly line balancing, sequence-dependent setup times, differential evolution algorithm

ABSTRACT

Many studies have been conducted in the literature on Simple Assembly Line Balancing Problems (SALBP). However, there was a huge gap between academic studies and industry practices due to the limitations found in SALBP. In order to close this gap, studies under the field of the General Assembly Line Balancing Problems (GALBP) have been started to solve the practical problems of the industry. The sequence-dependent setup times, which are common in the automotive and electronics sectors, have not been addressed in previous Assembly Line Balancing (ALB) studies. Setup times were added to station times to solve the problems in previous ALB studies. As this approach is insufficient to solve the problem, the sequence-dependent setup times GALBP studies have emerged. Because the sequence-dependent setup times GALBP is NP-hard and very complex problems, they can not be solved in reasonable time by deterministic methods such as linear programming and branch and bound algorithm. In this study, a new Differential Evolution Algorithm (DEA), which is a metaheuristic, has been developed to solve these problems. The performance of the developed DGA was tested on the test problems in the literature and gave better results than the previously developed heuristic methods in the literature.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Şehmus ASLAN

✉ sehmusaslan@artuklu.edu.tr

Giriş

Sürekli üretim sistemlerinde, üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve kitle talebinin olduğu durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın en makul yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır. Üretim sistemlerinde önemli bir birim olan montaj hatları, bünyesinde bir veya daha çok işlem yapılan ve birbiri ardına dizilmiş olan iş istasyonlarından oluşmaktadır. Her bir istasyonda, çevrim zamanı denilen sınırlı bir zaman dilimi içerisinde bir veya daha fazla montaj işlemi yapılır. Montaj Hattı Dengeleme (MHD), montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işlerin, bu işlerin süreleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, bir performans ölçütü en iyilenecek şekilde, sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde tanımlanabilir [1]. MHD'nin ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımını yapabilmektir. Başka bir deyişle, toplam iş yükünü iş istasyonları arasında mümkün olduğu kadar eşit bir şekilde bölebilmektir. Bir Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi (BMHDP)'nde temel olarak aşağıdaki kısıtlar kullanılmaktadır:

- Bütün işler iş istasyonlarına atanmalıdır,
- Bir görev sadece bir iş istasyonuna atanabilir,
- İş istasyonuna atanan görevlerin toplam süreleri çevrim süresini geçemez,
- Görevler arasındaki teknolojik ilişkilerden kaynaklanan öncül-ardıl ilişkileri bozulamaz.

Amaç fonksiyonu göz önüne alındığında MHD, 4 farklı gruba ayrılabilir [2]:

1. MHDP tip-1: Çevrim zamanı verilir, istasyon sayısı minimize edilmeye çalışılır.
2. MHDP tip-2: İstasyon sayısı verilir, çevrim zamanı minimize edilmeye çalışılır.
3. MHDP tip-E: Hat verimliliğini maksimize etmek için, istasyon sayısı ve

çevrim zamanı aynı anda minimize edilmeye çalışılır.

4. MHDP tip-F: Verilen istasyon sayısı ve çevrim zamanı için problemin uygun (feasible) olup olmadığına bakılır. Uygun çözümler bulunmaya çalışılır.

BMHDP, montaj hattı dengeleme problemlerinin en basit ve orijinal halidir. Bu problem tipine paralel istasyonlar, bölgeleme kısıtları, kaynak kısıtları gibi bazı kısıtlamalar veya faktörler eklenirse problem Genel Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (GMHDP) olarak adlandırılır. Literatürde GMHDP, U-tipi, paralel istasyonlar, karışık modellenmiş vb. çeşitleri mevcuttur.

Literatür Araştırması

MHD literatürüne bakıldığında BMHDP ile ilgili çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. BMHDP'de kullanılan kısıtlar gerçek hayattaki montaj hatlarını yansıtmaktan uzak kalmasına sebep oluyordu. Bu nedenle de akademik çalışmalar ile pratikteki uygulamalar arasındaki boşluğun doldurulması için bu çalışmalarda, daha gerçekçi yaklaşımlar sunan GMHDP altında yapılmaya başlandı [2]. Daha detaylı bilgi için, Becker ve Scholl'a [2] bakılabilir. Andres vd. [3] literatürde başka bir boşluğu doldurmak için sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP kavramını ortaya atmışlardır. Literatürde ilk defa bahsedilen bu kavram aslında pratikte sık rastlanan bir durumdur. Bir çok endüstriyel montaj hattında hazırlık zamanları olmasına rağmen, işlem (proses) zamanına göre az oranda olduğu için göz ardı edilmektedir. Ancak; otomotiv, elektronik ve diğer bazı robotik üretim hatlarında işlem zamanları kısa olduğu için hazırlık zamanlarının işlem zamanına göre oranı yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla daha verimli bir montaj hattı dengelemesi için bu hazırlık zamanlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

GMHDP ile ilgili çalışmalara bakıldığında; Andres vd. [3], çalışmalarında sıra-bağımlı hazırlık zamanlı tip-1 GMHDP için bir tamsayılı doğrusal programlama modeli

sundukları ve çözüm için de 8 farklı sezgisel ve GRASP algoritması geliştirdikleri görülmektedir. Özcan ve Toklu [4] sıra-bağımlı hazırlık zamanlı çift taraflı GMHDP için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Ayrıca modelin çözümü için de COMSOAL tabanlı bir sezgisel geliştirmişlerdir. Yolmeh ve Kianfar [5], sıra-bağımlı hazırlık zamanlı tip-2 GMHDP için hibrid bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Buldukları hibrid algoritmayı literatürdeki diğer algoritmalar ile karşılaştırmışlar ve daha iyi sonuçlar bulmuşlardır. Seyed vd. [6], sıra-bağımlı hazırlık zamanlı tip-2 GMDHP'nin çözümü için bir tavlama benzetimi algoritması geliştirmişler ve parametre optimizasyonu için de Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Scholl vd. [7] çalışmalarında, Andres vd. yaptıkları çalışmaya ek olarak hem geri (backward), hem de ileri (forward) hazırlık zamanlarını kullanmışlardır. Ayrıca yeni bir tamsayılı model kurmuşlar ve model çözümü için de çeşitli sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Bu sezgisel algoritmalar geçmiş sezgisel çözümlerden daha iyi sonuçlar elde etmesine rağmen hazırlık zamanlarının oransal olarak büyük olduğu test problemlerinde çok iyi sonuçlar bulamamışlardır. Hamta vd. [8], sıra-bağımlı hazırlık zamanlı tip-2 GMDHP için çok amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modelin amaçları çevrim süresini, malzeme maliyetlerini ve istasyonlar arasındaki düzgünlük indeksini minimize etmektir. Problem NP-zor olduğu için büyük problemler için matematiksel modellerle makul çözümler bulunması çok zor olmaktadır. Bu nedenle, çözüm için değişken komşu arama sezgiseli ile parçacık sürü meta-sezgiseliyle hibridize edilen bir algoritma sunmuşlardır. Literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında geliştirilen algoritma hem optimal çözüme yakın çözümler bulma kabiliyeti, hem de çözüme ulaşma süresi bakımından daha iyi sonuçlar vermiştir. Akpınar vd. [9], karışık modelli hazırlık zamanlı GMHDP için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve problemin karmaşık olmasından dolayı çözüm için karınca algoritması ve genetik algoritmayı hibridize ederek bir çözüm algoritması geliştirmişlerdir.

Diri vd. [10], stokastik sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP için doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Janardhanan vd. [11], sıra-bağımlı hazırlık zamanlı robotik tip-2 GMHDP için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Problem yapısı NP-zor olduğundan dolayı çözüm için göç eden kuşlar metasezgiselini kullanmışlardır. Söz konusu metasezgiseli literatürdeki diğer meta-sezgiseller ile karşılaştırmışlardır. Bulunan çözümlerde göç eden kuşlar algoritmasının diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Gutjahr ve Nemhauser [12], basit montaj hattı dengeleme problemlerinin bile NP-zor yapıda olduğunu ispatlamışlardır. Dolayısıyla çok daha karmaşık olan sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP'nin de NP-zor olduğunu söyleyebiliriz. NP-zor yapıdaki problemlerin doğrusal programlama, dinamik programlama ve dal-sınır algoritmaları gibi kesin yöntemlerle makul zamanlarda en iyi çözümlerinin bulunması büyük problemler için imkansızdır. Bu nedenle bu tip problemlerin çözümü için sezgisel veya metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da çözüm için yeni bir Diferansiyel Gelişim meta-sezgisel algoritması geliştirilmiştir. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ilk defa Storn ve Price [13] tarafından geliştirilmiş ve sürekli eniyileme problemlerin çözümünde kullanılmıştır. DGA günümüze gelinceye kadar birçok eniyileme problemlerin çözümünde kullanılmıştır [14-18]. DGA aynı zamanda birçok MHDP'nin çözümünde de kullanılmıştır. Nearchou [19], ilk defa BMHDP için DGA yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, literatürdeki test problemleri üzerinden diğer evrimsel algoritmalar ile karşılaştırılan DGA üstünlük sağlamıştır. Nearchou [20], çok amaçlı BMHDP için DGA geliştirmiştir. Bu çalışmada esas amaç istasyon çevrim zamanını minimize etmek, ikincil amaçlar olarak de geç kalma dengelemesini ve düzgünlük indeksini minimize etmektir. Çalışmada Kim vd. [21] tarafından geliştirilen genetik algoritmayla karşılaştırılan DGA, daha iyi sonuçlar vermiştir. Nourmohammadi ve Zandieh'in [22], çok amaçlı BMHDP'nin

çözümü için geliştirdikleri DGA'nın amaçları; çevrim zamanını ve düzgünlük indeksini minimize etmektir. Bir sonraki popülasyonda bireyleri seçerken Pareto baskınlık kavramı ve değerlendirme mekanizması için de TOPSİS yönteminden faydalanmışlardır. Taguchi yöntemi DGA parametrelerinin optimizasyonu için kullanılmıştır. Önerilen DGA'da iki adet aday vektör oluşmaktadır. Bunlardan biri çekinik diğeri ise baskın vektördür. Mozdgir vd. [23], çalışmalarında BMHDP'nin ana amaç fonksiyonu olarak işgücü düzgünlük indeksini için DGA geliştirmişlerdir. DGA parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Vincent ve Ponnambalam [24], esnek montaj hatlarını dengelemek için iki aşamalı DGA geliştirmişlerdir. Model literatürde geliştirilen iki aşamalı genetik algoritma ile test problemleri üzerinden karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Pitakaso ve Sethanan [25], çalışmalarında tekstil endüstrisindeki montaj hattı dengeleme uygulamalarında her görev için önceden belirlenmiş bir makine atanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu kısıt altında tip-1 BMHDP için bir matematiksel model geliştirmişler ve çözüm için de DGA sunmuşlardır. Önerilen DGA'da farklı bir çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Nilakantan vd. [26], robotik montaj hatlarının dengelenmesi için iki amaçlı bir DGA önermişlerdir. Bu amaçlar çevrim zamanının ve hat maliyetinin minimize edilmesidir. Bu çalışmada hem düz hem de U-tipi robotik montaj hatlarının dengelenmesi hedeflenmiştir. Literatürdeki 30 veriseti üzerinde yapılan testlerde önerilen DGA'nın etkinliği ispatlanmıştır. Zhang vd. [27], tip-2 BMHDP için bir DGA geliştirmişlerdir. Bu DGA'da klasik DGA'nın aksine çözüm gösterimleri gerçel sayılar olarak değil de tam sayı olarak gösterilmiştir. Ayrıca geliştirilen yeni bir çaprazlama operatörü herhangi bir tamir mekanizması gerektirmeden vektörler üzerinde işlem yapmaktadır. Aynı şekilde çözüm vektörleri kesikli yapıda olduğu için yeni bir mutasyon operatörü de geliştirilmiştir. Nearchou ve Omirou [28], hem tip-1 hem de tip-2 BMHDP için yeni bir DGA geliştirmişlerdir. Çözüm vektörleri öncelik

tabanlı kodlama ve rastgele kodlama şeklinde kodlanmıştır. Literatürdeki test problemleri üzerinden farklı metasezgisellerle karşılaştırılan DGA'nın rastgele kodlamalı olan çözüm yöntemi üstünlük sağlamıştır. Gansterer ve Hartl [29], tek ve çift taraflı montaj hattı dengeleme problemlerinin çeşitli kısıtlar altında çözülmesi için genetik algoritma, tabu arama ve DGA metasezgisellerini kullanmışlardır. Tekstil sektöründen gerçek verilerin kullanıldığı uygulamada 52 görevli örneklere kadar her üç metasezgisel de eniyi çözümlere ulaşabilmiştir. Ancak daha büyük problemlerde genetik algoritmanın, hem tabu arama metasezgiselinden hem de DGA'dan daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Feriştah [30], düz ve U-tipi montaj hatları için bir DGA geliştirmiştir. Önerilen algoritma literatürdeki diğer algoritmalar ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Önerilen algoritmanın üstünlüğü kromozom yapısından kaynaklanmaktadır. Kromozom yapısı öncelik ilişkilerine öncelik vermekte olup, herhangi bir tamir operasyonuna gerek duymamaktadır.

Andres vd.'nin [3] ortaya koydukları sıra-bağımlı hazırlık zamanlı MHDP çok karmaşık bir GMHDP'dir. Bu problem türünde istasyonlar arasında dengeleme yapılırken aynı zamanda istasyon içindeki görevler arasında da çizelgeleme yapılması gerekir. Dolayısıyla, sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP, hem bir dengeleme hem de bir çizelgeleme problemidir. Daha önce sezgisellerle çözülmeye çalışılan sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP tip-1 problemi, daha sonra da bir kaç çalışmada GMHDP tip-2 problemi olarak metasezgisellerle çözülmeye çalışılmıştır. Ancak, sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP tip-1 problemleri literatürde ilk defa bu çalışmada bir metasezgisel olan DGA ile çözülmüştür. Yukarıda da söylendiği gibi sürekli problemlere başarıyla uygulanan DGA'nın, çözüm kümesi ayrık olan NP-zor problemlere uygulaması literatürde çok fazla rastlanılmamaktadır. Bu çalışmada DGA yönteminin seçilmesinde diğeri bir neden, diğeri evrimsel algoritmalara göre DGA'nın daha basit ve etkili bir yöntem olmasıdır. DGA'da kullanılan operatör sayısı diğeri evrimsel

algoritmalarla göre daha azdır. Dolayısıyla diğer evrimsel algoritmalarla göre uygulanması da daha kolay olmaktadır.

Çalışmanın izleyen bölümünde problemin daha iyi anlaşılabilmesi için problem tanımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan yöntem DGA açıklanmıştır. Ardından bu problem çeşidini çözmek için geliştirilen DGA'nın geliştirilme aşamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Sonrasında geliştirilen DGA, test problemleri üzerinden literatürdeki sezgisellerle karşılaştırılmış ve deney sonuçları açıklanmıştır. Son bölümde ise sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler verilmiştir.

Problem Tanımı

BMHDP'de, görevler arasında hazırlık zamanları varsa ve görev sırasına bağımlı olarak değişiyorsa bu tarz problemlere sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP denmektedir. Andres vd.'den [3] önce hazırlık zamanları dikkate alınmamıştır. Fakat robotik hatlar, otomotiv ve elektronik montaj hatları gibi hazırlık zamanlarının yüksek oranda olduğu hatlarda hazırlık zamanlarının gözardı edilmesi verimli bir dengeleme yapılmasını engel olmaktadır. Andres vd.'ne [3] göre robotik hatlarda bir görevden diğerine geçildiği zaman bazı aletlerin değiştirilmesi için bir hazırlık zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Becker ve Scholl [31], otomotiv montaj hatlarında araç gövdesi üzerinde çalışan işçiler için yürüme zamanlarının hesaba katılması gerektiğini savunmuşlardır. Ayrıca yürüme zamanlarının öncül-ardıl olan işe göre değişebildiğini söylemişlerdir.

Bu problem şu şekilde tanımlanabilir: Bir i görevi herhangi bir j görevinin öncülü ise ve aynı istasyona atandıysa görevler arasında $\tau_{i,j}$ kadar bir hazırlık zamanı gerekebilir. Bu süreye ileri (forward) hazırlık zamanı denilmekte ve istasyonun toplam zamanına eklenmesi gerekmektedir. Scholl vd. [7], buna ek olarak geri (backward) hazırlık zamanını eklemiştir. Eğer bir istasyonda p son görev olarak yer alıyor ve i de birinci görev olarak yer alıyorsa, iki görev arasında $\mu_{p,i}$ kadar bir geri hazırlık zamanı gerekebilir. Dolayısıyla bu geri hazırlık

zamanının da istasyon süresine eklenmesi gerekir.

Problemin daha iyi anlaşılması açısından şöyle bir örnek verilebilir: 3 görevden oluşan ve aralarında öncül-ardıl ilişkisi olmayan A,B,C görevleri aynı istasyonda yer almaktadır. Görev zamanları: $\tau_A=15$, $\tau_B=12$, $\tau_C=10$ olsun. İleri ve geri hazırlık zamanları: $\tau_{A,B}=3$, $\tau_{A,C}=4$, $\tau_{B,C}=5$, $\tau_{B,A}=2$, $\mu_{C,A}=2$, $\mu_{B,A}=1$, $\mu_{B,C}=2$, $\mu_{C,B}=1$ olduğunu varsayalım. Tablo 1'de iki farklı şekilde sıralanan görevlerin toplam istasyon zamanları verilmiştir.

Tablo 1. A, B ve C görevlerinin iki farklı şekilde sıralanışı

Sıralama	Dikkate Alınacak Zamanlar	Toplam İstasyon Zamanı
A-B-C	15+3+12+5+10+2	47
B-A-C	12+2+15+4+10+1	44

Aynı istasyonda yer alan bu üç görevin iki farklı dizilişi ile aralarında 3 birimlik zaman farkı oluşmuştur. Yukarıdaki örnekte çevrim zamanının 45 olduğunu varsayalım. Bu durumda A-B-C sıralaması uygun bir çözüm olmaz; ancak B-A-C uygun bir çözüm olmaktadır. Dolayısıyla montaj hatları dengelenirken Andres vd.'ne [3] göre hem görevlerin istasyonlara atanması gerekir hem de atanan görevlerin istasyon içinde de çizelgelenmesi gerekmektedir.

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), Storn ve Price [13] tarafından geliştirilen popülasyon temelli sezgisel bir eniyileme yöntemidir. DGA, her ne kadar sürekli ve küresel eniyileme problemlerinin çözümü için ortaya çıkmış olsa da Nearchou [32] tarafından ilk defa permütasyonel ve kesikli olan makina yerleşim probleminde başarıyla uygulanmıştır.

DGA işleyiş yapısı ve kullandığı operatörler bakımından Genetik Algoritmaya (GA) benzemektedir. Aralarındaki temel farklardan biri, GA arama işlemini ağırlıklı olarak

çaprazlama işlemi üzerinden yaparken, DGA ise arama işlemini daha çok mutasyon işlemi üzerinden yapmaktadır. Dolayısıyla DGA'da iyi bir arama yapabilmek için mutasyon işleminin etkin çalışması gerekir.

DGA diğer meta-sezgisellerden farklı olarak seçim aşamasında en iyi bireylerin yaşamasına izin verir. Ayrıca her bir iterasyonda yeni nesiller oluşturmak yerine, ilk nesilde oluşturulan bireyler iterasyonlar boyunca varlıklarına devam etmekte ancak kendinden daha iyi bireyler oluştuğu zaman onunla yer değiştirirler. Böylece mevcut durumda kötü bir sonuç verse bile, küresel en iyiye ulaşabilecek çözümlerin devamı ve bireylerin çözüm uzayında dağıtıklığı sağlanarak erken yakınsamanın önüne geçmektedir.

Klasik DGA, temel olarak başlangıç popülasyonunun oluşturulması, mutasyon, çaprazlama ve seçim olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır [13].

Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

DGA'nın ilk aşamasında N_p adet D boyutlu parametreleri gerçel sayı olan vektör $x_{i,G}$ oluşturulur [13].

$$X_{i,G}, i = 1,2,3, \dots, N_p$$

$$G = 0,1,2, \dots, G_{max} \quad (1)$$

$$S = (X_{1G}, X_{2G}, X_{3G}, \dots, X_{N_pG})$$

Burada i , popülasyon indisini; G , nesil sayısını ve S ise başlangıç popülasyonunu göstermektedir.

Mutasyon

Her bir hedef vektör $X_{i,G}$, $i = 1,2,3, \dots, N_p$ için bir mutant vektör v_{iG+1} aşağıdaki gibi oluşturulur [13].

$$v_{iG+1} = x_{r_1,G} + F(x_{r_2,G} - x_{r_3,G}) \quad (2)$$

Burada $r_1, r_2, r_3 \in (1,2,3, \dots, N_p)$ birbirinden farklı tamsayılarıdır. Burada r_1, r_2, r_3 tamsayıları hedef vektör olan $X_{i,G}$ 'nin i indisinden farklı olduğu için popülasyon sayısı N_p , dört veya

daha büyük olması gerekir. $F \in [0,2]$ ise $(x_{r_2,G} - x_{r_3,G})$ vektörlerin farkını artırır veya azaltan kullanıcı tarafından belirlenen gerçel bir katsayıdır.

Çaprazlama

Mutasyona uğramış vektörlerin çeşitlendirmesini artırmak için çaprazlama operatörü kullanılır. Bu işlem sonunda aday vektör $u_{k,iG+1}$ aşağıdaki gibi oluşturulur [13].

$$u_{k,iG+1} = \begin{cases} v_{k,iG+1} & \text{eğer } rasg \leq CR \text{ ya da} \\ x_{k,iG} & \text{eğer } rasg > CR \end{cases} \quad (3)$$

$$k = RasgTams(1, D), i \in [1, N_p]$$

Burada $rasg$, $[0,1]$ aralığında eş olasılıkla üretilmiş bir gerçel sayı; $CR \in [0,1]$, kullanıcı tarafından belirlenen çaprazlama olasılığı ve $RasgTams(1,D)$ ise $[1,D]$ aralığında rasgele tamsayı üreten bir fonksiyondur. Bu fonksiyon en azından bir parametrenin mutant vektörden alınmasını garantilemektedir.

Seçim

Seçim operatörünün amacı bir sonraki nesil olan $G+1$ neslini oluşturmaktır. Bir sonraki nesile aktarılan vektöre x_{iG+1} aşağıda denklem (4)' teki gibi karar verilir [13].

$$x_{iG+1} = \begin{cases} x_{iG} & \text{eğer } uyg(x_{iG}) \leq uyg(u_{iG+1}) \\ u_{iG+1} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4)$$

Seçim işleminde hedef ve aday çözüm vektörlerinin uygunluk değerlerine bakılır hangisi daha küçükse o vektör bir sonraki nesle aktarılır.

Geliştirilen Diferansiyel Gelişim Algoritması (GDGA)

Bu bölümde sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP için geliştirilen DGA açıklanmıştır. GDGA 6 bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Başlangıç popülasyonun oluşturulması
2. Mutasyon
3. Çaprazlama
4. Tamir Operatörü

5. Uygunluk Fonksiyonu

6. Seçilim

Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması

Sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP, kesikli ve permütasyonel olduğu için GDGA'da çözüm vektörleri gerçel sayılardan değil kesikli sayılardan oluşmaktadır. Herbir çözüm vektörü D (görev sayısı) büyüklüğünde vektörden oluşmaktadır. Ayrıca başlangıç popülasyonu sayısı N_p kadar olmaktadır. Burada populasyon sayısı N_p kullanıcı tarafından belirlenmektedir. N_p sayısı büyüdükçe modelin en iyi çözümü bulma yeteneği artmaktadır. Ancak aynı zamanda çözüm bulma süresi de artmaktadır. Başlangıç popülasyonundaki her bir çözüm vektörü, 1'den D'ye kadar ve birbirinden farklı tamsayılardan oluşan D büyüklüğünde bir vektördür. Örneğin, montaj hattının 8 görevden oluştuğunu ve popülasyon sayısının 20 olarak belirlendiğini varsayalım. Popülasyon sayısı 20 olduğu için başlangıç popülasyonu 20 adet 8 elemanlı elemanları birbirinden farklı çözüm vektörlerinden oluşur.

Mutasyon

Sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP'ye klasik DGA mutasyon operatörü uygulanamaz. Çünkü GDGA'da klasik DGA'nın aksine başlangıç popülasyondaki çözüm vektörleri sürekli değil kesikli sayılardan oluşmaktadır. Dolayısıyla GDGA'da mutasyon operatörü için yeni bir bakış açısı gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada mutasyon operasyonu için yer değiştirme (swap) işlemi uygulanmıştır.

Bu çalışmadaki mutasyon operasyonu için geliştirilen yer değiştirme (swap) algoritması için üç birbirinden farklı vektör S_{1i}, S_{2i}, S_{3i} seçilmektedir. Burada klasik DGA'daki gibi iki vektörün birbirinden farkı bulunmamaktadır. Vektörlerin birbirinden farkının bulunmamasının sebebi, negatif değerlerin çıkmasını engellemektir. Çünkü negatif sonuçların çıkması çözüm vektörünü uygunsuz bir çözüm yapar. Örnek olarak, Tablo 2'de verilen vektörlerin $S_{2i} - S_{3i}$ işleminin sonucu $[0 \ 1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 2 \ -2]$ çıkacaktır. Negatif bir görev sayısı olmadığı için bu işlem sonucu uygunsuz (infeasible) olacaktır. Bu yüzden GDGA'da

mutasyon işlemi için bir yer değiştirme prosedürü uygulanmıştır. Bu prosedüre göre seçilen üç vektörden ikisinin her bir elemanın birbirine eşit olup olmadığına bakılır. Aynı ise 0, değilse 1 değeri verilir (denklem 5). Ayrıca GDGA'da F katsayısı kullanılmamaktadır. Sadece değerlerin birbirine eşit olup olmadığına bakıldığı için F katsayısının kullanımı gereksiz olmaktadır.

$$x_i \quad x_i = S_{2i} - S_{3i} \quad \forall i \in D$$

$$Y_i \quad Y_i = \begin{cases} \text{if}(x_i == 0 & 0 \\ \text{aksi takdirde} & 1 \end{cases} \quad (5)$$

Daha sonra vektörler üzerinde aşağıda Tablo 2'de gösterilen yer değiştirme işlemi uygulanır.

Tablo 2. Yer değiştirme (swap) işlemi

		S_{1i}							
İndis		1	2	3	4	5	6	7	8
Değer		1	2	3	4	5	6	7	8
		S_{2i}							
İndis		1	2	3	4	5	6	7	8
Değer		1	3	4	2	5	7	8	6
		S_{3i}							
İndis		1	2	3	4	5	6	7	8
Değer		1	2	4	3	5	7	6	8
		Y_i							
İndis		1	2	3	4	5	6	7	8
Değer		0	1	0	1	0	1	0	1

Tablo 2'de görüldüğü üzere Y_i vektörü S_{2i} ve S_{3i} vektörlerinin elemanlarının karşılaştırılmasıyla 0 ve 1 sayılarından oluşmaktadır. S_{2i} ve S_{3i} 'ün 1., 3., 5. ve 7. elemanları aynı görevlerden oluştuğu için Y_i vektöründe bunlara karşılık 0 değeri verilmiştir. Y_i vektörü oluşturulduktan sonra S_{1i} vektörü mutasyon işlemine tabi tutulacaktır. Buradaki

mutasyon işlemi ise klasik DGA'daki mutasyon işleminden farklıdır. Buradaki mutasyon işleminde Y_i vektöründeki 0 olan indislerin S_{1i} vektöründeki karşılıkları ardışık olarak yer değiştirirler. Örneğin, 1. ve 3. indisler Y_i vektöründe 0 olduğu için S_{1i} vektöründe 1. ve 3. indisler yer değiştirirler. Aynı şekilde 5. ve 7. indislerindeki görevler de karşılıklı yer değiştirirler. Oluşan yeni mutant vektör aşağıda Tablo 3'deki gibidir.

Tablo 3. Mutant vektör (v_{iG+1})

$$u_{k,iG+1} = \begin{cases} v_{k,iG+1} & \text{eğer } rasg \leq CR \text{ ya da } k = RasgTams(1, D) \\ x_{k,iG} & \text{eğer } rasg > CR \end{cases} \quad (6)$$

$$k \in [1, D], i \in [1, N_p]$$

Burada $rasg$, $[0,1]$ aralığında eş olasılıkla üretilmiş bir gerçel sayı; $CR \in [0,1]$, kullanıcı tarafından belirlenen çaprazlama olasılığı ve $RasgTams(1, D)$ ise $[1, D]$ aralığında rasgele

İndis	1	2	3	4	5	6	7	8
Değer	3	2	1	4	6	7	5	8

Çaprazlama

Çaprazlama işlemi klasik DGA'daki gibi yapılır. Aday vektör $u_{k,iG+1}$ aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

Tablo 4. Çaprazlama işlemi

Rastgele Değer	0,3	0,7	0,1	0,8	0,9	0,4	0,45	0,6
Mutant Vektör ($v_{k,iG+1}$)	3	2	1	4	6	7	5	8
Hedef Vektör ($x_{k,iG}$)	1	2	3	4	5	7	6	8
Çaprazlama Sonucu Oluşan Vektör ($u_{k,iG+1}$)	3	2	1	4	5	7	5	8

Yukarıdaki örnekte CR (çaprazlama oranı) değeri 0,5 olarak alınmıştır. Bu değer altında çıkan indislerin değerleri mutant vektörden diğerleri hedef vektördeki değerlerden alınmıştır. Aynı şekilde bu çalışmadaki GDGA'da da CR değeri 0,5 olarak alınmıştır. Çaprazlama operatörünün sözde kod yapısı aşağıda Algoritma 1'de verildiği gibidir.

tamsayı üreten bir fonksiyondur. Bu fonksiyon en azından bir parametrenin mutant vektörden alınmasını garantilemektedir.

Algoritma 1. Çaprazlama operatörü sözde kod yapısı

Başla

for ($k=1$; $k \leq D$; $k++$)

$rasg$, $[0,1]$ aralığında eş olasılıkla üretilmiş bir gerçel sayı

if ($rasg \leq CR$)

$v_{k,iG+1}$ görevinin u_{iG+1} vektöründe olup olmadığını kontrol et, varsa ($c=1$) yoksa ($c=0$)

if ($c==0$)

$u_{k,iG+1} = v_{k,iG+1}$

endif

else

$x_{k,iG}$ görevinin u_{iG+1} vektöründe olduğunu kontrol et, varsa ($c=1$) yoksa ($c=0$)

if ($c==0$)

$u_{k,iG+1} = x_{k,iG}$

```

    endif
  endif
endfor
Boş kalan indisleri belirle
Kalan görevleri küçükten büyüğe doğru boş
kalan indislere ata.

```

Bitir

Tamir Operatörü

Başlangıç popülasyonunu oluşturan çözüm vektörleri rastgele oluşturulduğu için, bazı vektörler öncül-ardıl ilişkisine uymayabilir. Bu nedenle başlangıç popülasyonunun her bir elemanı için tamir operatörü uygulanır. Ayrıca, mutasyon operatöründe rastgele işlemlere maruz kalan vektörler çaprazlama sonucunda aday vektör olarak seçilebilirler. Dolayısıyla, aday vektörlerin arasında da uygunsuz çözümler çıkabilir. Bu nedenle, aday vektörler de bir tamir sürecinden geçmektedirler. Tamir algoritmasının sözde kod yapısı aşağıda Algoritma 2’de verildiği gibidir.

Algoritma 2. Tamir algoritması sözde kod yapısı

Başla

```
for (m=1; m≤D; m++)
```

```
k=m
```

```
  while (öncül-ardıl ilişkileri sağlanıncaya
  kadar )
```

```
  do
```

```
     $X_{k,iG}$  görevi ile kendisinden sonra gelen
    görevlerin öncül ardıl ilişkisini kontrol
    et, sağlıyorsa ( $t_k = 1$ ) veya
    sağlamıyorsa ( $t_k = 0$ )
```

```
    if ( $t_k == 0$ )
```

$$x_{iG+1} = \begin{cases} x_{iG} & \text{eğer } f(x_{iG}) \leq f(u_{iG+1}) \\ u_{iG+1} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad i \in [1, N_p]$$

Seçilim işleminde hedef ve aday çözüm vektörlerinin uygunluk değerlerine bakılır hangisi daha küçükse o vektör bir sonraki nesle aktarılır. Bu çalışmadaki GDGA’nın seçim

```

    Bir sonraki görevi
    seç, ( $k = k + 1$ )

```

```
  else
```

```

     $X_{k,iG}$  görevi ile  $X_{m,iG}$ 
    görevinin yerini
    değiştir,  $X_{k,iG} = X_{m,iG}$ 

```

```
  endif
```

```
endwhile
```

```
endfor
```

Bitir

Görevlerin İstasyonlara Atanması: Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Çözüm vektörlerinin uygunluk değerlerinin hesaplanması için, görevlerin istasyonlara atanması gerekir. Bu çalışmadaki GDGA’nın amacı verilen GMHDP için istasyon sayısının minimize edilmesidir. Dolayısıyla çalışmanın uygunluk değeri istasyon sayısıdır. Tamir operasyonundan çıkan hedef ve aday vektörlerdeki görevler, vektörün fenotipindeki sırayla tek tek istasyonlara atanırlar. Bu atamalar aşağıda Denklem 7 [7] kullanılarak görev ve hazırlık sürelerinin toplamına bakılır. Eğer bu süre çevrim zamanını geçerse o istasyon kapanır ve yeni bir istasyon açılır. Böylece çözüm vektöründeki bütün görevler istasyonlara atanıncaya kadar bu işlem devam eder. En sonunda açılan istasyon sayısı çözüm vektörünün uygunluk değeri olur.

$$t_i + \tau_{i,j} + t_j + \tau_{j,h} + t_h + \mu_{h,i} \leq c \quad (7)$$

Denklem 7’deki t_i : i . görevin işlem zamanı, $\tau_{i,j}$: i ve j görevleri arasındaki ileri hazırlık zamanı, $\mu_{h,i}$: h ve i görevleri arasındaki geri hazırlık zamanı ve c : Çevrim zamanını göstermektedir.

Seçilim

Klasik DGA’da seçim prosedürü denklem 8’de verilmiştir:

işlemi, klasik DGA’nın seçim işlemiyle aynıdır.

GDGA, tümüyle aşağıda Tablo 5'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 5. Geliştirilmiş Diferansiyel Gelişim Algoritması prosedürü

Başla

N_p sayısı kadar rastgele hedef vektör i oluştur ($i=1 \dots N_p$)

while(maksimum jenerasyon sayısına ulaşıncaya kadar)

for ($i=1; i \leq N_p; i++$)

do

Algoritma 2'de verilen tamir işlemlerini hedef vektör i üzerinde uygula

Vektör i 'ye mutasyon işlemlerini uygula

Vektör i 'ye Algoritma 1'de verilen çaprazlama işlemlerini uygula

Aday vektör i 'ye Algoritma 2'de verilen tamir işlemlerini uygula

Hedef vektör i ve aday vektör i üzerinde verilen Denklem 8'de verilen seçim işlemlerini uygula

endfor

endwhile

Bitir

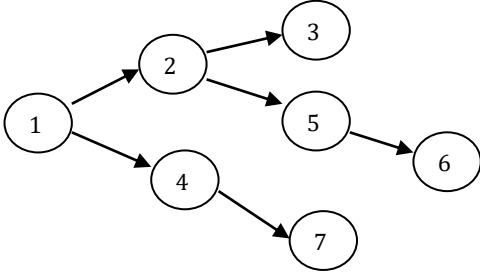
Geliştirilen Diferansiyel Gelişim Algoritması İçin Sayısal Örnek

Bu bölümde GDGA'nın nasıl çalıştığını daha iyi anlayabilmek için literatür problemlerinden Mertens'in 7 görevli ve çevrim zamanı 18 birim olan problemi ele alınacaktır. Problemde verilen görevlerin işlem zamanları Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. Mertens örneği işlem zamanları

Görevler	1	2	3	4	5	6	7
İşlem Zamanları	1	5	4	3	5	6	5

Mertens örneğinin öncül-ardıl ilişkileri Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Mertens örneği öncelik diyagramı

Sıra-bağımlı ve hazırlık zamanlı GMHDP'de görevler arasında hem ileri, hem de geri hazırlık zamanları olmaktadır. Mertens örneğinin Scholl vd. [7] tarafından eklenen ileri ve geri hazırlık zamanları aşağıda Tablo 7 ve Tablo 8'deki gibidir

Tablo 7. Mertens örneği ileri hazırlık zamanları

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	2	1	1	0	1
3	0	0	0	1	1	0	1
4	0	1	1	0	0	1	0
5	0	0	1	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0	0	1
7	0	1	1	0	0	1	0

Tablo 8. Mertens örneği geri hazırlık zamanları

	1	2	3	4	5	6	7
1	3	0	0	0	0	0	0
2	4	3	0	4	0	0	4
3	2	1	3	2	2	3	2
4	3	2	4	3	3	4	0
5	3	2	4	3	3	0	3
6	2	1	3	2	2	3	2
7	3	2	4	3	3	4	3

GDGA'nın ilk aşamasında başlangıç popülasyonu N_p oluşturulur. Bu örnekte başlangıç popülasyonunun kullanıcı tarafından $N_p=8$ olarak belirlendiğini varsayalım. Görev sayısı $D=7$ olduğu için, 8 adet 7 elemanlı çözüm vektörleri Tablo 9'daki gibi rassal oluşturulmuştur.

Tablo 9. Mertens örneği başlangıç popülasyonu

X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{41}	X_{51}	X_{61}	X_{71}	X_{81}
7	5	5	2	3	2	1	6
6	4	1	1	2	5	3	4
3	1	4	6	6	6	5	5
1	7	7	4	5	7	6	7
4	6	3	5	4	3	7	2
5	3	2	7	7	4	4	3
2	2	6	3	1	1	2	1

İlk nesil oluşturulduktan sonra her bir çözüm vektörü için aşağıda yapılan işlemler teker teker yapılır. Bu örnekte bu işlemler sadece bir çözüm vektörü üzerinde gösterilecektir. Popülasyonun ilk çözüm vektörü X_{11} olduğu için hedef vektör de X_{11} olacaktır. GDGA'nın ilk aşamasında X_{11} hedef vektörü uygun(feasible) bir çözüm olmadığı için üzerinde tamir operasyonu olan Algoritma 2 uygulanacaktır. Tamir aşamalarından geçen X_{11} hedef vektörü Tablo 10'daki gibi son halini alacaktır.

Tablo 10. X_{11} hedef vektörü tamir işlemi

X_{11} Hedef Vektörü	1.İşlem	2.İşlem	3. İşlem	4.İşlem	5.İşlem	X_{11} Hedef Vektörünün Son Hali
7	1	1	1	1	1	1
6	6	4	4	4	4	4
3	3	3	7	7	7	7
1	7	7	3	2	2	2
4	4	6	6	6	5	5
5	5	5	5	5	6	6
2	2	2	2	3	3	3

Hedef vektöre tamir işlemi uygulandıktan sonra mutasyon aşamasına geçilmektedir. Mutasyon işlemi için hedef vektörden ve birbirinden farklı 3 çözüm vektörü rassal seçilmektedir. Bu seçilen vektörlerin $S_{11} = X_{21}, S_{21} = X_{51}, S_{31}=X_{61}$ olduğunu varsayalım. Burada öncelikle denklem 5'te verilen işlemler uygulanır ve yer değiştirme (swap) noktalarını veren Y_i vektörü Tablo 11'deki gibi oluşturulur.

Tablo 11. Y_i yer değiştirme vektörü

X_{51}	X_{61}	Y_i
3	2	1
2	5	1
6	6	0
5	7	1
4	3	1
7	4	1
1	1	0

Yer değiştirme Y_i vektörü oluşturulduktan sonra $S_{11} = X_{21}$ vektöründeki Y_i vektörünün 0'a karşılık gelen indisleri yer değiştirilir. Bu durumda X_{21} vektörünün 3. ve 7. indisleri yer değiştirilir. Böylece mutant v_{12} vektörü Tablo 12'deki gibi oluşturulur.

Tablo 12. Mutasyon işlemi

X_{21}							
İndis	1	2	3	4	5	6	7
Değer	5	4	1	7	6	3	2
↓							
v_{12}							
İndis	1	2	3	4	5	6	7
Değer	5	4	2	7	6	3	1

Mutasyon işleminden sonra hedef vektör üzerinde çaprazlama işlemi uygulanır. Aday vektör u_{12} Algoritma 1'deki gibi oluşturulup Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Çaprazlama işlemi

Rastgele Değer	0,6	0,5	0,1	0,8	0,9	0,4	0,6
Mutant Vektör (v_{12})	5	4	2	7	6	3	1
Hedef Vektör (x_{11})	1	4	7	2	5	6	3
Çaprazlama Sonucu Oluşan Aday Vektör (u_{12})	1	4	2	-	6	3	-

Bu örnekte CR(çaprazlama oranı) değeri 0,5 alınmıştır. Aday vektörün 4. ve 7. indislerine gelen görevler daha önce vektörde bulunduğu için kalan 5 ve 7 görevleri kalan boş yerlere küçükten büyüğe doğru atanırlar. Çaprazlama sonucu oluşan aday vektörün son hali u_{12} Tablo 14'teki gibidir.

Tablo 14. Aday vektör u_{12} son hali

		u_{12}						
İndis		1	2	3	4	5	6	7
Değer		1	4	2	5	6	3	7

Çaprazlama sonucu oluşan aday vektör öncül-ardıl ilişkisine uyduğu için tekrar bir tamir işlemi uygulamaya gerek kalmamıştır. GDGA'nın son aşamasında seçim işlemi bulunmaktadır. Denklem 8'de verilen seçim işlemine göre hedef vektör ve aday vektörün uygunlukları karşılaştırılacaktır. Bu çalışma bir minimizasyon problemi olduğu için uygunluk fonksiyonu küçük olan; yani istasyon sayısı küçük olan vektör bir sonraki nesle aktarılacaktır. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması için öncelikle görevlerin istasyonlara atanması gerekir. Görevlerin istasyonlara atanması için Denklem 7 kullanılmıştır. Hedef vektör X_{11} ve aday vektörün u_{12} görevlerinin istasyon ataması Tablo 15 ve Tablo 16'daki gibidir:

Tablo 15. Hedef vektör X_{11} istasyon ataması

İstasyon 1			İstasyon 2		İstasyon 3	
1	4	7	2	5	6	3

Tablo 16. Aday vektör u_{12} istasyon ataması

İstasyon 1			İstasyon 2		İstasyon 3	
1	4	2	5	6	3	7

Burada her bir istasyondaki görevlerin ve ileri ve geri hazırlık zamanlarının toplamı çevrim süresi olan 18 birimi geçmemesi gerekir. Örneğin hedef vektörün X_{11} İstasyon 1'i şu şekilde hesaplanmıştır:

$$t_1 + \tau_{1,4} + t_4 + \tau_{4,7} + t_7 + \mu_{7,1} \leq 18$$

$$\rightarrow 1+0+3+0+5+3 \leq 18 \rightarrow 12 \leq 18$$

Diğer istasyonlar da aynı şekilde hesaplanmıştır. Seçim işlemi için hem hedef vektörün hem de

aday vektörün uygunluklarına bakılır. Uygunluk değeri vektörlerin istasyon sayılarına eşittir. Hedef vektörün uygunluk değeri $f(x_{11})=3$ ve aday vektörün uygunluk değeri $f(u_{12}) = 3$. Denklem 8'deki seçim işlemine göre uygunluk değerleri birbirine eşitse bir sonraki nesle hedef vektör X_{11} taşınır. Dolayısıyla $X_{12} = X_{11}$ olacaktır.

Deneysel Sonuçlar

GDGA, MATLAB programında kodlanmış ve test problemleri Intel Core i5, 2.4 GHz, 6 GB RAM özelliklerine sahip PC kullanılarak test edilmiştir. Test problemleri

<http://www.assembly-line-balancing.de>

adresinden alınmıştır. Literatürde geçen ve en iyi (optimum) çözümü bilinen BMHDP'ye Scholl vd. [7] tarafından ileri (forward) ve geri (backward) hazırlık zamanları eklenerek sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP için 269 adet test problemi oluşturulmuştur. Bu çalışmada, deneysel çalışma için bu test problemleri kullanılacaktır. GDGA'nın parametreleri olan başlangıç popülasyonu N_p ve çaprazlama oranı CR'nin farklı değerleri için GDGA çalıştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre $N_p = 50$ ve CR=0,5 değerlerinde algoritmanın makul zamanda en iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yolmeh ve Kianfar [5] ve Pitakaso ve Sethanan [25], test problemlerini, geliştirdikleri algoritma ile 5 kez çözmüş ve buldukları en iyi sonuçları literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada da benzer şekilde her bir test problemi için GDGA, 5 kez çalıştırılmış ve bulunan en iyi sonuçlar kaydedilmiştir. Toplam 269 adet test problemi olduğu için toplamda 1345 adet deney yapılmıştır.

Scholl vd. [7]., hazırlık zamanlarını oluşturmak için $\alpha \cdot t_{ort}$ sayısını üst sınır seçmiş ve rassal ileri ve geri hazırlık zamanları oluşturmuşlardır. Burada t_{ort} , ortalama işlem zamanını temsil etmekte ve α ise 0,25, 0,50, 0,75, 1 sayılarından birini almaktadır. Bu durumda ileri ve geri hazırlık zamanları ortalama işlem süresinin 12,5, 25, 37,5, 50%'sine kadar değer alabilmektedir. Dolayısıyla 4 farklı α seviyesinde 4 farklı deney seti oluşturulmuştur. Bu çalışmada problem setlerinin en zor seviyesi

olan $\alpha=1$ seviyesindeki problem seti kullanılarak GDGA çalıştırılmıştır.

Test problemleri daha önce de söylendiği gibi literatürde çalışılan BMHDP'ye, Scholl vd. tarafından ileri ve geri hazırlık zamanları eklenerek oluşturulmuştur. BMHDP'nin en iyi çözümleri bilinmesine rağmen, oluşturulan bu test problemleri çok daha karmaşık olduğu için en iyi çözümleri bilinmemektedir [7]. Dolayısıyla bu sorunun üstesinden gelebilmek için ve Andres vd. [3]., buldukları sonuçların performanslarını belirleyebilmek için bir alt sınır (lower bound) metodu kullanmışlardır. Andres vd. [3], tarafından kullanılan alt sınır metodu daha sonra Scholl vd. tarafından geliştirilmiştir [7]. Bu çalışmada da Scholl vd. tarafından geliştirilen alt sınır denklemi (9) kullanılmıştır.

$$LB = \min\{m \geq LB1 | t_{top} + \tau_{top}^{n-m} + \mu_{top}^m \leq TC(m)\} \quad (9)$$

$$LB1 = \left\lceil \frac{t_{top}}{c} \right\rceil, \quad TC(m) = m \cdot c$$

Denklem 9'daki LB: İstasyon sayısının alt sınırı, t_{top} : Bütün görevlerin toplam işlem zamanı, n: Toplam görev sayısı, m: Bilinen eniyi istasyon sayısı, τ_{top}^{n-m} : n-m sayıdaki görevin arasındaki toplam ileri (forward) hazırlık zamanı, μ_{top}^m : m sayıdaki görevin arasındaki toplam geri (backward) hazırlık zamanı ve c: Çevrim zamanını göstermektedir.

Bu çalışmadaki GDGA, Scholl vd. tarafından sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP çözümü için geliştirilen ve en iyi sonuçları bulan 4 farklı sezgisel olan FBRI10, FBCRI10, FBCRI100 ve FBLS10 ile karşılaştırılmıştır [7]. Bulunan sonuçlar Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. GDGA ve diğer sezgisellerin karşılaştırması ($\alpha=1$ veri seti için)

	FBRI 10	FBCRI 10	FBCRI 100	FBLS 10	GDGA
Rel.LB (%)	31,19	31,19	30,27	35,39	29,87
#Opt	8	8	8	4	20
CPU (sn)	1,86	1,86	18,85	6,32	54

Tablo 17'de verilen Rel.LB (%): Bulunan sonucun istasyon alt sınır sayısından sapma yüzdesi, #Opt: Bulunan en iyi çözüm sayısı,

CPU (sn): Algoritmanın her bir problem için saniye cinsinden çalışma süresidir.

Tablo 17'ye bakıldığında bu çalışmadaki GDGA'nın diğer sezgisellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. GDGA'nın 269 test problemi içinde bulunduğu çözümlerin alt sınırdan sapma yüzdesi %29,87 ile diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte diğer algoritmalar 269 test problemi içinde 8 adet en iyi sonuca ulaşmışken, GDGA 20 adet en iyi sonuca ulaşmıştır. Burada bulunan en iyi çözüm sayısının düşük olmasının nedeni bu problem türünün çok karmaşık olması ve problemlerin en iyi çözümleri bilinmediği için bulunan çözümler alt sınırlar ile karşılaştırılmasıdır. Dolayısıyla test problemlerinin en iyi çözümleri bilseydi, algoritmanın bulunduğu en iyi çözümlerin daha fazla olduğu ve alt sınırdan sapma yüzdesinin daha da azaldığı görülebilirdi. GDGA'nın her bir test problemi için bilgisayardaki ortalama çalışma süresi 54 saniye olmuştur ve diğer algoritmalarından daha yüksek çıkmıştır. Ancak bu süre algoritmanın bulunduğu sonuçlar itibariyle için tolere edilebilir düzeydedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP tip-1'in çözümü için yeni bir DGA geliştirilmiştir. Bu çalışmada çözülmeye çalışılan sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP, NP-zor olan BMHDP'den çok daha karmaşık yapıya sahiptir. Bu tür NP-zor problemler için doğrusal programlama, dinamik programlama ve dal-sınır algoritmaları gibi kesin yöntemlerle makul zamanlarda optimum çözümlerinin bulunması büyük problemler için imkansızdır. Dolayısıyla bu tür problemlerin çözümleri için literatürde sezgisel veya metasezgisel yöntemler çok sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada önerilen GDGA, klasik DGA'dan farklı olarak kesikli bir yapıda olan sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP'ye uyarlanmıştır. Sürekli problemlerin çözümünde çok iyi sonuçlar veren DGA, bu çalışmada da çok iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmadaki sonuçlar; literatürde daha önce geliştirilen sezgisellerden çözüm kalitesi bakımından daha iyi sonuçlar vermiştir, ancak süre açısından daha iyi sonuçlar verememiştir. Ama istenilen, makul zamanda makul çözümler

olduğu için GDGA'nın bu isteği fazlasıyla karşıladığı söylenebilir.

Bu çalışmada GDGA'nın parametrelerinin eniyilenmesi için kapsamlı bir deney tasarımı yapılmamıştır. İleriki çalışmalarda parametre eniyilenmesi için bir deney tasarımı yapılabilir. Ayrıca, sıra-bağımlı hazırlık zamanlı GMHDP'nin daha karmaşık ve gerçekçi hali olan sıra-bağımlı hazırlık zamanlı U-tipi, çift taraflı veya paralel istasyonlu gibi çeşitleri için de DGA'lar veya başka metasezgiseller geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N.N. Özel, S., (2002). Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **17**, 4, 115-124.
- [2] Becker, C., Scholl, A., (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, **168**, 3, 694-715.
- [3] Andres, C., Miralles, C., Pastor, R., (2008). Balancing and Scheduling Tasks in Assembly Lines with Sequence-Dependent Setup Times, *European Journal of Operational Research*, **187**, 3, 1212-1223.
- [4] Özcan, U., Toklu, B.2010. Balancing Two-Sided Assembly Lines with Sequence-Dependent Setup Times, *International Journal of Production Research*, **48**, 18, 5363-5383.
- [5] Yolmeh, A., Kianfar, F., (2011). An Efficient Hybrid Genetic Algorithm to Solve Assembly Line Balancing Problem with Sequence-Dependent Setup Times, *Computers & Industrial Engineering*, **62**, 4, 936-945.
- [6] Seyed-Alagheband, S., Ghomi, S.M.T.F., Zandieh, M., (2011). A simulated annealing algorithm for balancing the assembly line type II problem with sequence-dependent setup times between tasks, *International Journal of Production Research*, **49**, 805-825.
- [7] Scholl, A., Boysen, N., Flidner, M., (2013). The Assembly Line Balancing and Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times: Problem Extension, Model Formulation and Efficient Heuristics, *OR Spectrum*, **35**, 1, 291-321.
- [8] Hamta, N., Ghomi, S.M.T.F., Jolai, F., Shirazi, M. A., (2013). A Hybrid PSO Algorithm for a Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem with Flexible Operation Times, Sequence-Dependent Setup Times and Learning Effect, *International Journal of Production Economics*, **141**, 1, 99-111.
- [9] Akpınar, Ş., Bayhan, G.M., Baykasoğlu, A., (2013). Hybridizing Ant Colony Optimization via Genetic Algorithm for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem with Sequence Dependent Setup Times between Tasks, *Applied Soft Computing*, **13**, 1, 574-589.
- [10] Diri, Z., Mete, S., Çil, Z.A., Ağpak, K., (2015). Stokastik Sıra-Bağımlı Hazırlık Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21**, 4, 152-157.
- [11] Janardhanan, M.N., Li, Z., Bocewicz, G., Banaszak, Z, Nielsen, P., (2018). Metaheuristic algorithms for balancing robotic assembly lines with sequence-dependent robot setup times, *Applied Mathematical Modelling*.
- [12] Gutjahr, A.L., Nemhauser, G.L., (1964). An algorithm for the line balancing problem, *Management Science*, **11**, 2, 308-315.
- [13] Storn, R., Price, K., (1997). Differential evolution-A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *Journal Global Optimization*, **11**, 241-354.
- [14] Cheng, S.L., Hwang, C., (2001). Optimal approximation of linear systems by a differential evolution algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A, Systems and Humans*, **31**, 6, 698-707.
- [15] Ali, M.M., Torn, A., (2004). Population set-based global optimization algorithms: Some modifications and numerical studies, *Computers and Operations Research*, **31**, 1703-1725.
- [16] Kaelo, P., Ali, M.M., (2005). A numerical study of some modified differential evolution algorithms, *European Journal of Operational Research*, **169**, 1176-84.
- [17] Sun, J., Zhang, Q., Tsang, E. P. K., (2005). DE/EDA: A new evolutionary algorithm for global optimization, *Information Sciences*, **169**, 3, 249-262.
- [18] Montes, M. E., Miranda-Varela, M. E., del Carmen Gomez-Ramon, R., (2010). Differential evolution in constrained numerical optimization: An empirical study, *Information Sciences*, **180**, 22, 4223-4262.

- [19] Nearchou, A. C., (2007). Balancing large assembly lines by a new heuristic based on differential evolution method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **34**, 1016–1029.
- [20] Nearchou, A. C. (2008). Multi-objective balancing of assembly lines by population heuristics, *International Journal of Production Research*, **46**, 8, 2275–2297.
- [21] Kim, Y. K., Kim, Y. J., Kim. Y., (1996). Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives, *Computers Industrial Engineering*, **30**, 3, 397–409.
- [22] Nourmohammadi, A., Zandieh, M., (2011). Assembly line balancing by a new multiobjective differential evolution algorithm based on TOPSIS, *International Journal of Production Research*, **49**, 10, 2833–2855.
- [23] Mozdgir, A., Mahdavi, I., Seyedi Badeleh, I., Solimanpur, M., (2013). Using the Taguchi method to optimize the differential evolution algorithm parameters for minimizing the workload smoothness index in simple assembly line balancing, *Mathematical and Computer Modelling*, **57**, 1–2, 137–151.
- [24] Vincent, L. W. H., Ponnambalam, S. G., (2013). A differential evolution-based algorithm to schedule flexible assembly lines, *IEEE Transactions On Automation Science And Engineering*, **10**, 4, 1161–1165.
- [25] Pitakaso, P., Sethanan, K., (2015). Differential Modified differential evolution algorithm for simple assembly line balancing with a limit on the number of machine types, *Engineering Optimization*.
- [26] Nilakantan, J. M., Nielsen, I., Ponnambalam, S. G., Venkataramanaiah, S., (2016). Differential evolution algorithm for solving RALB problem using cost- and time-based models, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **89**, 1, 311–332.
- [27] Zhang, H., Yan, Q., Liu, Y., Jiang, Z., (2016). An integer-coded differential evolution algorithm for simple assembly line balancing problem of type 2, *Assembly Automation*, **36**, 3.
- [28] Nearchou, A.C., Omirou, S.L., (2017). Assembly Line Balancing Using Differential Evolution Models, *Cybernetics and Systems*.
- [29] Gangsterer, M., Hartl, R. F., (2017). One- and two-sided assembly line balancing problems with real-world constraints, *International Journal of Production Research*, 3025-3042.
- [30] Özçelik, F., (2018). Basit düz ve U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri için diferansiyel evrim algoritması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **24**, 1.
- [31] Becker, C., Scholl, A., (2009). Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European Journal of Operational Research*, **199**, 359–374.
- [32] Nearchou, A. C., (2006). Meta-heuristics from Nature for the Loop Layout Design Problem, *International Journal of Production Economics*, **101**, 2, 312–328.



Diyarbakır İli Şartlarında Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Isıtma Analizi

Heating Analysis with the Horizontal Type Ground Source Heat Pump in Diyarbakır Conditions

Fatih KOÇYİĞİT

Dicle Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Diyarbakır
fatih.kocyyigit@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-6383-3163

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 20 Mart 2020
Düzeltilme: 23 Nisan 2020
Kabul: 4 Haziran 2020

Anahtar kelimeler:

Buhar Sıkıştırma Isıtma, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Termodinamik Analiz, Enerji Analizi, Ekserji Analizi.

ÖZET

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde 9x8x2.8 m ölçülerinde deney alanının ısıtılması için yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kış sezonunda performansı değerlendirilmiştir. İncelenen sistemin kış sezonunda elde edilen sonuçları değerlendirilerek sistem ve sistem ünitelerine enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Kurulan sistemde belirlenen 11 adet düğüm noktası için kış sezonunda (01.12.2017 / 28.02.2018) ölçülen verilerin aylık ve sezonluk ortalama değerleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlarla yapılan enerji analizinde sistemde meydana gelen enerji kaybı 3.550 kW ve enerji verimliliği %75.47 olarak hesaplanmıştır. Sistem üniteleri için ise en düşük enerji verimliliği ile çalışan ünite kompresör olarak belirlenmiştir. Sisteme uygulanan ekserji analizine göre sistemin ekserji kaybı 2.032 kW ve ikinci yasa verimliliği %23.35 olarak hesaplanmıştır. Sistemde en fazla ekserji kaybı görülen ünite olarak yine kompresör belirlenmiştir. Gerek enerji analizi gerekse ekserji analizi sonuçlarına göre planlanacak iyileştirme çalışmaları için kompresöre öncelik verilmelidir. Sistemin COP değeri 3.08 olarak belirlenmiş ve kış sezonunda kullanımı incelenen sistemin Diyarbakır ili için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.706761

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 May 2020
Revised: 23 April 2020
Accepted: 4 June 2020

Keywords:

Steam Compression Heating, Ground Source Heat Pump, Thermodynamic Analysis, Energy Analysis, Exergy Analysis.

ABSTRACT

In this study, the performance of the horizontal type ground source heat pump system in the winter season was evaluated for heating the 9x8x2.8 m test area in Diyarbakır. Energy and exergy analysis was applied to the system and system units by evaluating the results of the examined system in the winter. Monthly and seasonal average values of the data measured in the winter (01.12.2017 / 28.02.2018) were taken for 11 node points determined in the established system. In the energy analysis made with the obtained results, the energy loss in the system was calculated as 3.550 kW and the energy efficiency was 75.47%. For system units, the unit with the lowest energy efficiency has been determined as a compressor. According to the exergy analysis applied to the system, the exergy loss of the system is calculated as 2.032 kW and the second law efficiency is 23.35%. The compressor was determined as the unit with the highest exergy loss in the system. The compressor should be given priority for the improvement works to be planned according to the results of both energy and exergy analysis. The COP value of the system was determined as 3.08 and it was determined that the system, which was examined in the winter, was usable for Diyarbakır province.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Fatih KOÇYİĞİT
✉ fatih.kocyyigit@dicle.edu.tr

Giriş

Dünya nüfusunun giderek artmasına bağlı olarak enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıtlarla çalışan sistemlerinde çevreye olan zararlı etkilerinin artmasından dolayı kullanıcıları gelişen teknolojiye paralel olarak farklı çözüm arayışlarına yönlendirmiştir. Enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji fiyatlarının hızlı artması nedeniyle enerjinin verimli kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Bu kapsamda dünyada üretilen enerjinin büyük bir bölümü konutların ısıtılması ve soğutulmasında tüketilmektedir. Enerjinin daha verimli kullanılması amacıyla pek çok çalışma yapılmakta ve klasik iklimlendirme sistemlerine alternatif çözümler aranmaktadır. Isı pompaları yüksek kullanım verimleri ve çevreye daha duyarlı teknolojileri nedeni ile yaygın olarak kullanılan klasik iklimlendirme sistemlerine nazaran birçok uygulamada tercih edilerek giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ise daha çok konutların iklimlendirilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda konutların iklimlendirilmesinde harcanan enerjinin ısı pompaları yardımıyla azaltılabileceği dolayısıyla da enerjinin daha verimli kullanılabileceği belirtilmiştir [1].

Literatürde ısı pompalarının iklimlendirme amaçlı kullanımına ve değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Akbulut vd. [2], belirtilen deney alanı için kış sezonunda dikey bir toprak kaynaklı ısı pompası ile entegre duvardan ısıtma sisteminin ekserji, eksergoekonomik ve çevresel analizini yapmışlardır. Çalışmalarında dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin İstanbul ili için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ünal vd. [3] Mardin ili Midyat ilçesinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma sezonu için enerji, ekserji ve ekonomik analizi yapmışlardır. Çalışmalarında Mardin ilinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kullanılmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ünal ve Demir [4,5] yine aynı deney alanında toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutma sisteminin hem termodinamik analizini hem de ekonomik analizini ayrı ayrı inceleyerek sistemin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Özyurt ve İkinci [6], Atatürk Üniversitesi'nde kurdukları 53 m derinliğinde dikey toprak kaynaklı ısı pompasının performansını deneysel olarak belirlemişler ve sistemin enerji analizini yapmışlardır. Isı pompası sisteminin COP değerinin 2.07-2.43 ve sistemin COP değerini

3.04-3.55 olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara bağlı olarak sistemin Erzurum ilinde konut ısıtması için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Öztürk vd. [7], toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ve sistem ünitelerinin enerji ve ekserji analizleri teorik olarak Isparta, Antalya ve Burdur illeri için yapmışlardır. Yapılan değerlendirmelerde en büyük ekserji kayıp oranının Isparta'da, en düşük ekserji kayıp oranının ise Antalya'da olduğunu belirtmişlerdir. Kim vd. [8], Kore'deki Pusan Uluslararası Üniversitesi'nde dikey tip bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin gerçek işletme koşullarında performans değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda ısıtma periyodunda ısı pompasının COP değerlerini 4.3-8.3 ve sistemin COP değerlerini 3.0-6.2 olarak elde etmişlerdir. Fei ve Pingfang [9], Çin'de kurdukları ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre ısı pompasının ve sistemin COP değerlerini ısıtma sürecinde 4.57 ve 3.1 olarak hesaplamışlardır. Sarbu ve Sebarchievici [10], toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin literatür taramasını yapmış ve son gelişmeler üzerinde durmuşlardır. Farklı toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Binalarda iklimlendirme ihtiyacı için çeşitli hibrid toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri açıklanarak, sistemlerin enerji, ekonomik ve çevresel performansı da değerlendirilmiştir. Alkan vd. [11], Isparta ilinde ısıtma amaçlı altı farklı soğutucu akışkan kullanarak dikey toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin termodinamik analizini yapmışlardır. İncelenen sistemde R22, R404A, R410A, R407C, R134A ve R600 akışkanları için sistem elemanlarının ekserji kaybı ve ekserji verimlerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak R600 akışkanının en iyi performansa sahip olduğu belirtmişlerdir. Luo vd. [12], Güney Almanya'nın Nürnberg kentinde bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma ve soğutma performans analizini yapmışlardır. Isıtma ve soğutma performansı 4 yıl boyunca elde edilen verilere dayalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kış günü için COP değerinin 3.9 olacağını tahmin etmişlerdir. Menberg vd. [13], doğalgazlı kazan ile dikey toprak kaynaklı ısı pompası hibrit sisteminin ısıtma ve soğutma sezonu için her bir elemanın ayrıntılı termodinamik analizini yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistem performansının soğutma için daha uygun olduğunu

belirtmişlerdir. Hepbaşlı vd. [14], İzmir ilinde 65 m²'lik bir odanın iklimlendirme ihtiyacının karşılanması amacıyla 50 m derinliğe sahip dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının performansını incelemek amacı ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Özgener ve Hepbaşlı [15], toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin modellenmesi ile performans değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında modelledikleri dikey tip ve yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performans analizi yaparak elde edilen sonuçlarla sistemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Ünal ve Akan [16], Mardin ilinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının elde edilen deneysel verilere bağlı olarak enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Yaptıkları analizlerde ekserji kaybı oranı en fazla olan sistem ünitesinin kompresör olduğunu belirtmişlerdir. Esen [17], Elazığ'da bir evin bahçesinde yaz ve kış sezonunda kullanılması için 30 m, 60 m ve 90 m olacak şekilde farklı derinliklerde sondaj kuyularına sahip bir dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi

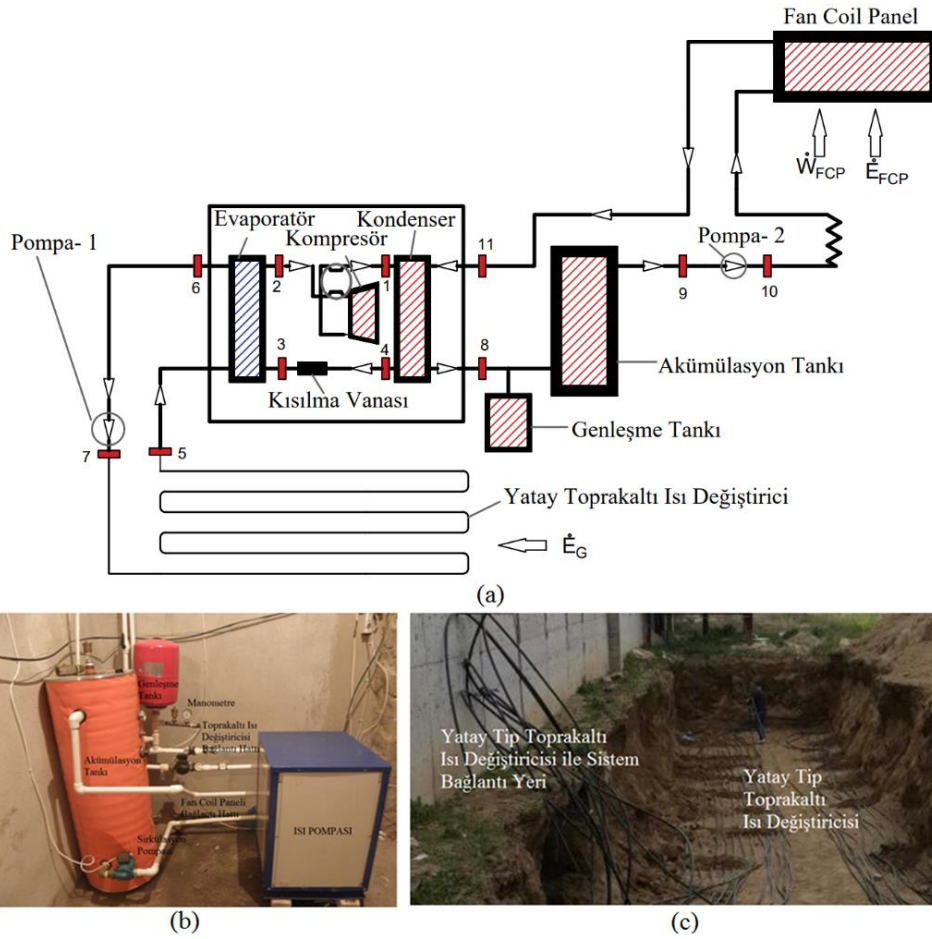
tasarlamıştır. Farklı yapay sinir ağları yöntemleri kullanarak üç sistemin performans kıyaslamasını yapmıştır. Yaz ve kış sezonunda elde ettiği sonuçlarla en yüksek sistem performansının 90 m derinliğe sahip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde olduğunu belirtmiştir. Kılıç [18], çalışmasında Adana'da bulunan iki katlı bir villanın hem ısıtma hem de soğutma ihtiyacının karşılanması amacıyla farklı iki yöntem kullanarak toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan sistemin hem yaz sezonu hem de kış sezonu için analizini yapmıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iklimlendirme ihtiyacını genellikle fosil kökenli yakıtlar ile sağlayan Diyarbakır ili Bismil ilçesinde yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma sistemi deneme amaçlı kurulmuştur. Kurulan sistemde kış sezonu boyunca yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara bağlı olarak sistem ve ünitelerine enerji ve ekserji analizi yapılmış ve değerlendirilen sistemin bu ilçede kullanılabilirliği incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinin Bismil ilçesinde bir iş yerinin 9 m uzunluğunda, 8 m eninde ve 2,8 m yüksekliğindeki zemin katının ısıtma ihtiyacını karşılamak için deneme amaçlı yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası kurulmuş olup kurulan sistemin kış sezonunda elde edilen deneysel verileri incelenerek enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Deney tesisatı kompresör, kondenser, evaporatör, kısılma vanası, iki adet pompa, yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi, akümülyasyon tankı ve fan coil panelinden olmak üzere toplam dokuz adet ünite ve ölçümlerin alındığı 11 adet düğüm noktasına sahiptir. Deney tesisatı, odanın ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca sistemde belirlenen 11 adet düğüm noktasına yerleştirilen PT-100 tipi ısı çiftler (hassasiyet $\pm 1^\circ\text{C}$) ile sıcaklık, pompalardan sonra yerleştirilen GT-TD-20 tipinde $\frac{3}{4}$ " PVC türbin debimetreler (hassasiyet %1) ile akışkanın debileri, ısı pompasının kontrol cihazından soğutucu akışkan debisi ve ısı pompası üzerinde bulunan manometreler yardımı ile basınç ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler ile elde edilen

veriler 24 kanallı datalogger yardımıyla anlık olarak kaydedilmiştir. Kompresör, pompalar ve soğutma panelinin elektrik tüketimlerinin ölçümleri için sisteme elektrik sayacı bağlanmıştır. Elde edilen verilerin kış sezonu için belirlenen 3 aylık süreçte ortalamaları alınarak sistem ve üniteleri için değerlendirme yapılmıştır. Isıtma amaçlı kullanılan sistemin genel şeması Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin teorik olarak çalışma sürecinde yatay tip toprak ısı değiştiricisi topraktan çektiği ısıyı (\dot{E}_G) ısı pompasının evaporatörüne aktarır. Daha sonra evaporatöre aktarılan ısı (\dot{E}_L) ile ısı transfer akışkanı gaz haline gelir. Isı transfer akışkanı gaz halinde iken sıcaklığı ve basıncı kompresörde gerçekleşen sıkıştırma işlemi ile yükseltilerek kondensere taşınır. Kondenserde yoğuşma işlemi esnasında ortaya çıkan ısı (\dot{E}_H) sistemin fan coil paneline (\dot{E}_{FCP}) aktarılırken, ısı pompası içinde soğutucu akışkan kısılma vanasından geçer ve çevrim bu şekilde devam eder.



Şekil 1. a) Kış sezonunda sistemin akış şeması b) Isı pompası odası c) yatay toprakaltı ısı değiştirici

Şekil 1'de verilen sistem sürekli akışlı açık sistem modeline uyan bir sistemdir. Sistemde deney mahalının ısıtma ihtiyacının karşılanması için kullanılan yatay tip toprak kaynaklı Restherma marka ısı pompasının ısıtma kapasitesi katalog verilerinde 10 kW olarak verilmiştir. Yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi için 15 m uzunluğunda ve 10 m genişliğinde 150 m² alana 2 m derinliğe yatay serme işlemi yapılmıştır. Yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi için toplam 730 m uzunluğunda PE 80 tip boru kullanılmıştır. Sistemde yapılan teorik ve deneysel değerlendirmelerde, yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisinin etrafı tamamen toprak ile çevrili olduğu için ısı kayıpları ihmal edilmiştir. Isı pompasında yer alan 2 adet ısı değiştirgeci kondenser ve evaporatör olarak görev yapmaktadır. Isı pompasının kompresörü scroll tip Coopeland marka kompresördür.

Analizler

Enerji analizlerinde termodinamiğin birinci yasası temel alınırken, ekserji analizlerinde ise termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasaları birlikte kullanılmıştır. Sürekli akışlı açık bir sisteme uyan incelenen sistemde

Kısılma vanasında entalpi kaybı yoktur. Diğer bir ifadeyle kısılma işleminin sabit entalpide gerçekleştiği kabul edilmiştir ($h_3=h_4$). Akümülyasyon tankı 200 lt kapasitede olup her ne kadar yüksek oranda izolasyona sahip olsa da ısı kaybı meydana gelmektedir. Sistemde sıcak suyun muhafazası için denge tankı amacıyla akümülyasyon tankı kullanılmıştır. Sistemde kasetli döşeme tipi 2 borulu AE 400 model fan coil paneli kullanılmıştır. Isı taşıyıcı akışkan olarak toprakaltı ısı değiştiricisi ve fan coil panelinde su, ısı pompasında ise soğutucu akışkan R407C kullanılmıştır. Suyun özellikleri EES paket programı, R407C'nin özellikleri ise Refprop paket programı yardımı ile belirlenmiştir. Ayrıca ekserji analizinde referans çevre değerleri $T_0=0.01^\circ\text{C}$ ve $P_0=1$ bar olarak kullanılmıştır.

yükseklik değişimi ve hız değişimine bağlı olarak gerçekleşen enerji değişimi iç enerjiye göre çok küçük olduğundan potansiyel ve kinetik enerjilerin değişimi sıfır kabul edilmiştir. Potansiyel enerji ve kinetik enerji

ihmal edildiğinde enerji dengesi Eşitlik 1 ile verilmiştir.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot h \quad (1)$$

Bu çalışmada, enerji kaybının ifadesi Eşitlik 2 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{\text{kayıp}} = \dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} \quad (2)$$

Sistemin veya sistem ünitesinin verimi (COP: Coefficient of Performance-Performans Katsayısı), elde edilmek istenen değerin bu amaçla harcanması gereken değere bölünmesi ile bulunmuştur.

$$\eta = \frac{\text{elde edilmek istenen değer}}{\text{harcanması gereken değer}} \quad (3)$$

Ekserji diğer bir deyişle kullanılabilirlik, bir sistemin verilen bir halde yapabileceği en çok yararlı iş olup sistem ve çevrenin halleriyle ilişkili bir özelliktir. Bu çalışmada sadece fiziksel ekserji eşitlikleri kullanılmıştır. Fiziksel ekserji Eşitlik 4 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_x = \dot{m}\Psi = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (4)$$

Ayrıca sistem sınırlarında aktarılan işin ekserjisi kendi değerine eşittir. İşin ekserji ifadesi Eşitlik

5 ile verilmiştir. Aktarılan ısının ekserji ifadesi ise Eşitlik 6 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{xW} = W \quad (5)$$

$$\dot{E}_{xQ} = Q(1 - \frac{T_0}{T}) \quad (6)$$

Bu çalışmada, ekserji kaybının ifadesi Eşitlik 8 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{x\text{kayıp}} = \dot{E}_{x\text{giren}} - \dot{E}_{x\text{çıkan}} \quad (8)$$

Bu çalışmada bir sistemin her bir ünitesinde gerçekleşen ekserji kaybı belirlendikten sonra ilgili ünitenin ekserji kaybının tüm sistemdeki ekserji kaybına oranlanmasıyla ekserji kaybı oranı elde edilmiştir. Ekserji kaybı oranı Eşitlik 9 ile verilmiştir.

$$d_k = \frac{\dot{E}_{x\text{kayıp,ünite}}}{\dot{E}_{x\text{kayıp,sistem}}} \quad (9)$$

İkinci yasa verimi yakıt-ürün prensibine göre Eşitlik 10 ile ifade edildiği biçimde tanımlanmıştır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}_{x\text{ürün}}}{\dot{E}_{x\text{yakıt}}} \quad (10)$$

Yapılan çalışmada enerji ve ekserji analizinin uygulanmasında kullanılan eşitlikler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de ise sistemde belirlenen düğüm noktaları için ölçülen ve elde edilen değerler verilmiştir.

Tablo 1. Termodinamik Analizde Kullanılan Eşitlikler

Ünite	Enerji Dengesi	Ekserji Dengesi
Sistem	$\dot{E}_K = \dot{m}_G h_G + \dot{W}_{\text{giren}} - \dot{m}_{\text{FCP}} h_{\text{FCP}}$ $\dot{W}_{\text{sistem}} = \dot{W}_{\text{giren}} = \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{\text{komp}} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{\text{FCP}}$ $\text{COP}_{\text{sistem}} = \frac{\dot{E}_{\text{FCP}}}{\dot{W}_{\text{giren}}}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_G \Psi_G + \dot{W}_{\text{giren}} - \dot{m}_{\text{FCP}} \Psi_{\text{FCP}}$ $\dot{W}_{\text{sistem}} = \dot{W}_{\text{giren}} = \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{\text{komp}} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{\text{FCP}}$ $\eta_{II} = \frac{\dot{E}_{x\text{ürün}}}{\dot{E}_{x\text{yakıt}}}$
Kompresör	$\dot{E}_K = \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{\text{komp}} - \dot{m}_1 h_1$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_2 \Psi_2 + \dot{W}_{\text{komp}} - \dot{m}_1 \Psi_1$
Kondenser	$\dot{E}_K = (\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{11} h_{11}) - (\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_8 h_8)$	$\dot{E}_{xK} = (\dot{m}_1 \Psi_1 + \dot{m}_{11} \Psi_{11}) - (\dot{m}_4 \Psi_4 + \dot{m}_8 \Psi_8)$
Evaporatör	$\dot{E}_K = (\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5) - (\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_2 h_2)$	$\dot{E}_{xK} = (\dot{m}_3 \Psi_3 + \dot{m}_5 \Psi_5) - (\dot{m}_6 \Psi_6 + \dot{m}_2 \Psi_2)$
Kısılma Vanası	$\dot{E}_K = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_4 \Psi_4 - \dot{m}_3 \Psi_3$
Pompa-1	$\dot{E}_K = \dot{m}_6 h_6 + \dot{W}_{p1} - \dot{m}_7 h_7$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_6 \Psi_6 + \dot{W}_{p1} - \dot{m}_7 \Psi_7$
Toprakaltı Isı Değiştiricisi	$\dot{E}_K = \dot{E}_G + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_5 h_5$	$\dot{E}_{xK} = \dot{E}_{xG} - \dot{m}_7 \Psi_7 - \dot{m}_5 \Psi_5$
Pompa-2	$\dot{E}_K = \dot{W}_{p2} + \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{10} h_{10}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{W}_{p2} + \dot{m}_9 \Psi_9 - \dot{m}_{10} \Psi_{10}$
Akümülayon Tankı	$\dot{E}_K = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_9 h_9$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_8 \Psi_8 - \dot{m}_9 \Psi_9$
Fan Coil Paneli	$\dot{E}_K = \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{W}_{\text{FCP}} - \dot{E}_{\text{FCP}} - \dot{m}_{11} h_{11}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{E}_{x1\dot{m}_{10}\Psi_{10}} + \dot{W}_{\text{FCP}} - \dot{E}_{\text{FCP}} - \dot{m}_{11} \Psi_{11}$

Tablo 2. Kış Sezonunda Düğüm Noktaları İçin Elde Edilen Değerler

Düğüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Debi (kg/s)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.35	0.35	0.21	0.21	0.21	0.21
Basınç (bar)	11.80	4.90	4.90	11.80	1.65	1.65	1.65	1.53	1.53	1.53	1.53
Sıcaklık (°C)	57.73	10.67	1.06	26.71	9.73	4.31	4.33	36.57	35.78	35.80	26.12
Entalpi (kJ/kg)	450.06	421.81	269.25	269.25	41.048	18.251	18.359	153.34	150.04	150.22	119.24
Entropi (kJ/kgK)	1.8541	1.8045	1.2619	1.2492	0.147	0.0658	0.0658	0.526	0.516	0.516	0.393
Enerji (kW)	18.002	16.872	10.770	10.770	14.367	6.388	6.426	32.201	31.508	31.546	25.040
Ekserji (kW)	7.188	6.502	6.328	6.467	0.327	0.111	0.149	2.038	1.918	1.956	2.506

Tablo 2’de verilen değerler ile birlikte ayrıca kış sezonunda kompresörün harcadığı güç 1.768 kW, sirkülasyon pompalarının her birinin harcadığı güç 0.048 kW ve fan coil panelinin harcadığı güç 0.250 kW olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte topraktan çekilen ısı 7.941 kW ve ekserji değeri 0.537 kW, fan coil panelinden

deney mahalline aktarılan ısı 6.506 kW ve ekserji değeri 0.619 kW olarak belirlenmiştir. ($\dot{W}_{komp} = 1.768$ kW, $\dot{W}_{P1} = 0.048$ kW, $\dot{W}_{P2} = 0.048$ kW, $\dot{W}_{FCP} = 0.250$ kW, $\dot{E}_G = 7.941$ kW, $\dot{E}_{FCP} = 6.506$ kW, $\dot{E}_{XG} = 0.537$ kW, $\dot{E}_{XFCP} = 0.619$ kW)

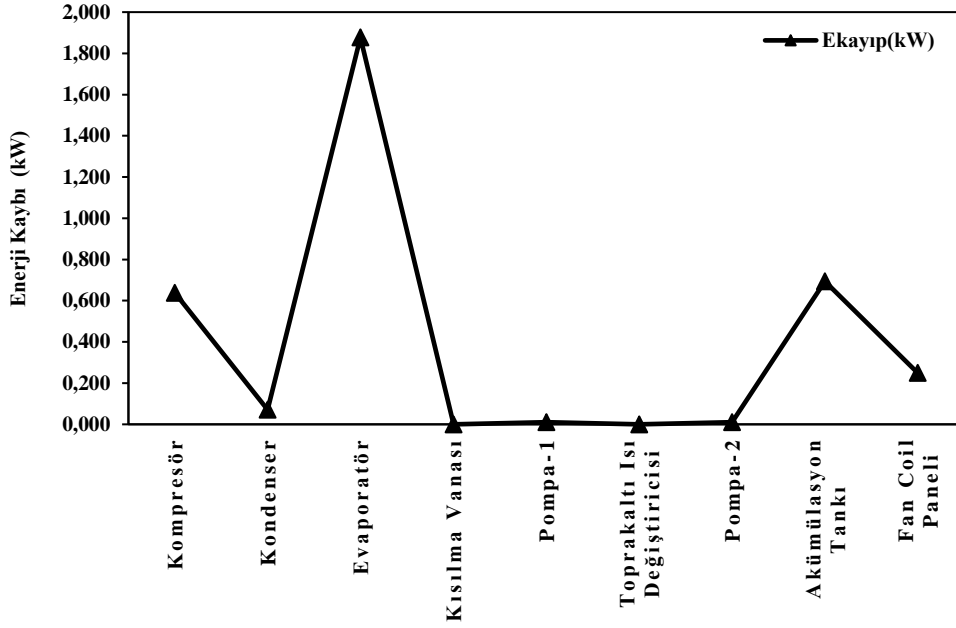
Tablo 3. Kış sezonunda sistem ve üniteleri için enerji analizi sonuçları

Ünite	Sistem	Kompresör	Kondenser	Evaporatör	Kısılma Vanası	Pompa-1	Toprakaltı Isı Değiştiricisi	Pompa-2	Akümülayon Tankı	Fan Coil Paneli
$\dot{E}_{giren}(kW)$	10.056	18.641	43.043	25.137	10.770	6.436	14.367	31.556	32.201	31.796
$\dot{E}_{çıkan}(kW)$	6.506	18.002	42.971	23.260	10.770	6.426	14.367	31.546	31.508	31.546
$\dot{E}_{kayıp}(kW)$	3.550	0.638	0.071	1.877	0.000	0.010	0.000	0.010	0.693	0.250
$\dot{E}_{yakıt}(kW)$	8.620	1.768	7.232	7.979	10.770	0.048	7.941	0.048	32.201	6.756
$\dot{E}_{ürün}(kW)$	6.506	1.130	6.506	6.102	10.770	0.038	7.941	0.038	31.508	6.506
$\eta(\%)$	75.47	63.90	89.95	76.48	100.00	78.75	100.00	78.75	97.85	96.30

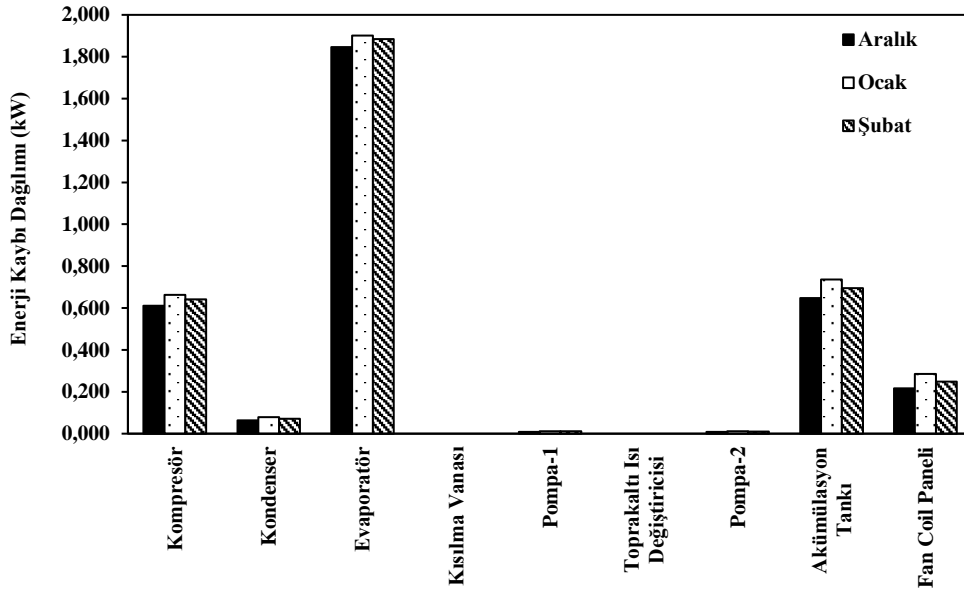
Tablo 2’de kış sezonunda belirlenen 11 düğüm noktası için ölçülen debi, sıcaklık ve basınç değerlerinin ortalamaları ile bu değerlerin yardımıyla elde edilen entalpi, entropi, enerji ve ekserji değerleri verilmiştir. Kış sezonunda sistem ünitelerinin enerji analizi için Tablo 2’de verilen düğüm noktalarına ait değerlere bağlı olarak Tablo 1’de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Sistem ve üniteleri için yapılan enerji analizine ait sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’te sistem ve üniteleri için giren enerji ve çıkan enerji miktarı ile birlikte enerji kaybı

miktarı değerleri verilmiştir. Ayrıca sistem ve ünitelerine ait yakıt enerjisi miktarı ile ürün enerjisi miktarı değerleri ve bu değerlerden elde edilen sistem ve sistem ünitelerinin enerji verimleri verilmiştir. Kış sezonunda sistem ünitelerinin enerji kaybı Şekil 2 de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tüm sistemde enerji kaybı miktarı 3.550 kW olarak belirlenmiştir. Sistemin enerji verimliliği %75.47 olarak elde edilmiştir. Tablo 3’te verilen sonuçlara göre kompresörün enerji verimlilik değeri %63.90 ile sistemin verimliliği en düşük olan ünite olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kış sezonunda sistemdeki enerji kaybının sistem ünitelerine dağılımı.



Şekil 3. Kış sezonunda sistemdeki enerji kaybının sistem ünitelerine aylık dağılımı.

Şekil 2 incelendiğinde sistem üniteleri için yapılan kabul ve hesaplamalarda sırasıyla evaporatör, akümülyasyon tankı, kompresör ve fan coil paneli enerji tasarruf potansiyeli yüksek üniteler olarak saptanmıştır. Sistemde kış sezonu için en fazla enerji kaybı sırasıyla 1.877 kW ile evaporatör, 0.693 kW ile akümülyasyon tankı ve 0.638 kW ile kompresörde saptanmıştır. Yapılan enerji analizlerinde ısı kayıpları ihmal edildiği için toprakaltı ısı değiştiricisi ve kısılma vanasında enerji kaybı

görülmüştür. Kış sezonu için sistemde görülen enerji kaybı miktarının aylık olarak ünitelere dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde sistem ünitelerinde meydana gelen enerji kayıplarında dış ortam sıcaklığının sistem üniteleri üzerindeki etkisi görülebilmektedir. Ayrıca sistem ünitelerinde en fazla enerji kaybının ocak ayında meydana geldiği görülmüştür. Tablo 4'te yatay tip toprak kaynaklı ısıtma sisteminin kış sezonunda elde edilen enerji analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. Kış sezonu için aylık enerji analiz sonuçları

Çalışılan Aylar	Aralık	Ocak	Şubat	Ortalama
$\dot{W}_{\text{kompresör}} \text{ (kW)}$	1.69	1.82	1.79	1.77
$\dot{W}_{\text{sistem}} \text{ (kW)}$	2.04	2.17	2.14	2.11
$\text{COP}_{\text{sistem}}$	3.16	3.02	3.07	3.08
$\text{COP}_{\text{ısı pompası}}$	4.18	3.96	4.01	4.05

Tablo 5. Kış sezonunda sistem ünitelerinin ekserji analiz sonuçları

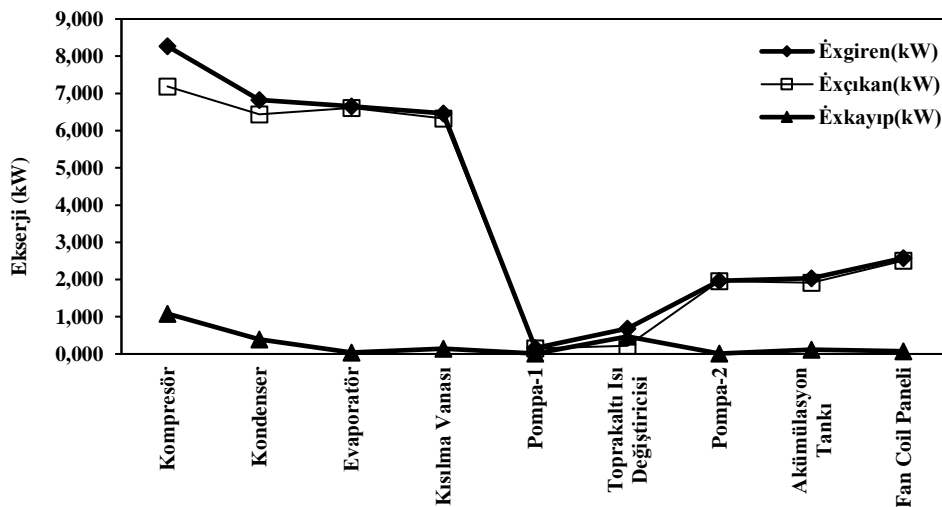
Ünite	Sistem	Kompresör	Kondenser	Evaporatör	Kısıtma Vanası	Pompa-1	Toprakaltı Isı Değiştiricisi	Pompa-2	Akümülayon Tankı	Fan Coil Paneli
$\dot{E}x_{\text{giren}} \text{ (kW)}$	2.651	8.270	6.829	6.655	6.467	0.159	0.686	1.966	2.038	2.575
$\dot{E}x_{\text{çıkan}} \text{ (kW)}$	0.619	7.188	6.439	6.613	6.328	0.149	0.216	1.956	1.918	2.506
$\dot{E}x_{\text{kayıp}} \text{ (kW)}$	2.032	1.082	0.390	0.042	0.139	0.010	0.470	0.010	0.119	0.070
$\dot{E}x_{\text{yakıt}} \text{ (kW)}$	2.651	1.768	0.722	0.216	6.467	0.048	0.537	0.048	2.038	0.869
$\dot{E}x_{\text{ürün}} \text{ (kW)}$	0.619	0.686	0.468	0.174	6.328	0.038	0.216	0.038	1.918	0.550
$\eta_u \text{ (\%)}$	23.35	38.82	64.87	80.52	97.85	78.75	40.25	78.75	94.14	63.24

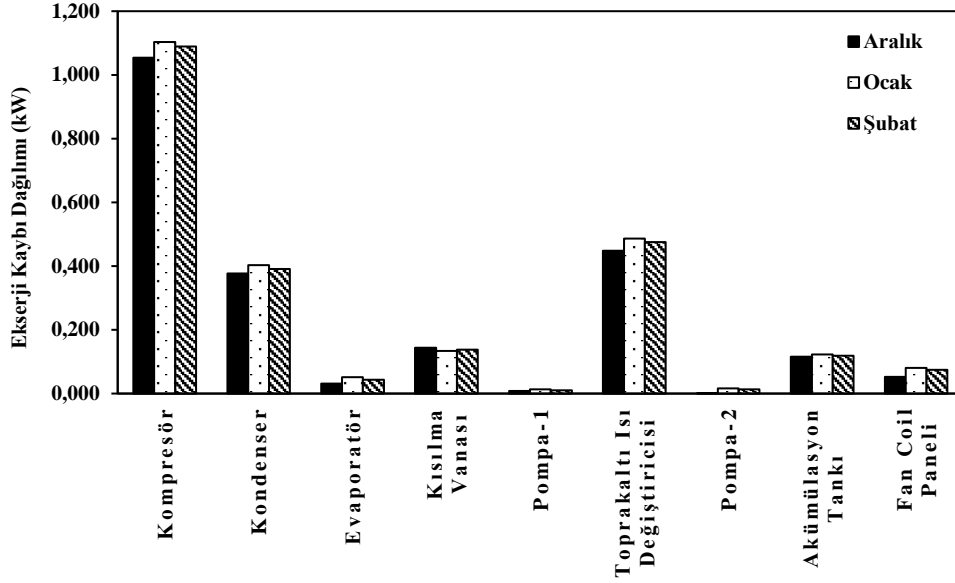
Tablo 4'te verilen sonuçlara göre kış sezonunda toprak kaynaklı buhar sıkıştırılmalı ısı pompası sisteminin tükettiği enerji miktarı ortalama 2.11 kW ve kompresörün tükettiği enerji miktarı ise ortalama 1.77 kW olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kış sezonunda sistemin COP değeri ortalama 3.08 olarak belirlenmiştir.

Kış sezonu için, Tablo 2'de verilen düğüm noktalarına ait değerler ve Tablo 1'deki eşitlikler yardımıyla sistem ünitelerine ekserji analizi uygulanmıştır. Tablo 5'te sistem ve üniteleri için uygulanan ekserji analizine ait sonuçlar verilmiştir. Her bir ünitenin ikinci yasa

verimi literatür ile kıyaslandığında literatür değerleri ile birbirine yakınlık göstermektedir. Sistemde ikinci yasa verimi en düşük çıkan ünite kompresör olup literatürde yapılan çalışmaların birçoğu ile benzer sonuç vermek ile birlikte bazı çalışmalardan düşük değerde kalmıştır. Bu durum literatür [2]'de görülebilmektedir.

Ayrıca tablodan sistem ünitelerinin kıyaslaması yapılabilmektedir. Kış sezonunda sistem ünitelerine ait ekserji değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

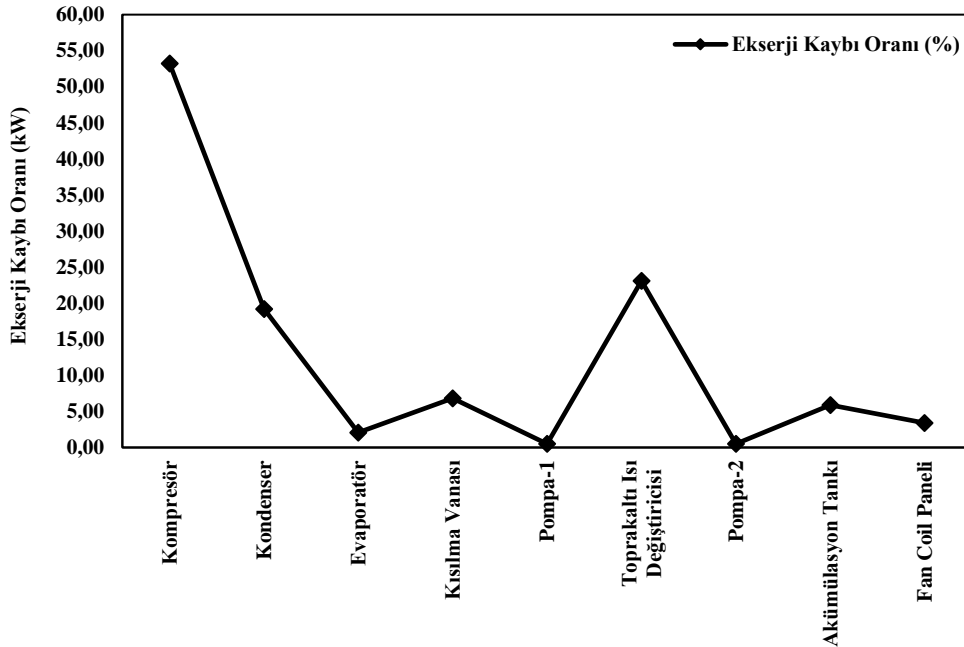
**Şekil 4.** Kış sezonunda sistem ünitelerine ait ekserji değerleri.



Şekil 5. Kış sezonunda sistem ünitelerine ait aylık ekserji kaybı dağılımı.

Tablo 5 ile Şekil 4 beraber incelendiğinde en fazla ekserji kaybı 1.082 kW ve %38.82 ile en düşük ekserji verimi olan ünite olarak kompresör belirlenmiştir. Şekil 5'te kış sezonu için sistem ünitelerine ait aylık ekserji kaybı dağılımı verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde kısılma vanası hariç tüm sistem ünitelerinin

aylık ekserji kaybı miktarlarının dış hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Sistem ünitelerinde en fazla ekserji kaybı ocak ayında meydana gelmiştir. Şekil 6'da kış sezonunda yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ünitelerinin ekserji kaybı oranı değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Kış sezonunda sistem ünitelerinin ekserji kaybı oranının dağılımı

Şekil 6'da kış sezonu için yapılan teorik ve deneysel kabuller yardımıyla yapılan termodinamik hesaplamalara göre sistemde kompresör %53.25 ile en fazla ekserji kaybı oranına sahip ünitelerdir. Bu bağlamda yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sisteminde yapılması planlanacak

iyileştirmelerde öncelikle dikkate alınması gereken parametrelerden biri ekserji kaybı oranları olmalıdır. Ekserji kaybı oranı yüksek olan ünitelerde yapılacak iyileştirmeler ünitenin ekserji kaybını azaltırken aynı zamanda sistemin ekserji verimliliğini de arttıracaktır.

Sonuçlar

Kış sezonunda (01 Aralık 2017—28 Şubat 2018) yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sisteminde kullanılan scroll tip kompresörün elektrik tüketimi dış hava sıcaklıklarından doğru orantılı olarak etkilenmekte dolayısıyla scroll tip kompresörün düşük hava sıcaklıklarında daha fazla devreye girdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapılan incelemeler neticesinde sistem COP değerlerinin de dış hava sıcaklıkları ile doğrudan etkilendiği tespit edilmiştir. İncelenen kış sezonu boyunca dış hava sıcaklığı sırasıyla en soğuk ve en sıcak aylar olan Ocak ayında ortalama 5.2°C, Aralık ayında ise ortalama 5.8°C olarak ölçülmüştür. 2 m olarak kazılan kuyu derinliğinde toprak sıcaklığı ise Aralık ayında ortalama 12.1 °C, Ocak ayında ortalama 11.3°C, Şubat ayında 11.6°C ve kış sezonunda ortalama 11.6°C olarak ölçülmüştür. Sistemin topraktan evaporatör yardımı ile çektiği enerji miktarının ise dış hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak 7.68–8.09 kW arasında değiştiği görülmüştür. Kış sezonu boyunca fan coil panelinden ortama aktarılan ortalama enerji miktarı 6.51 kW olarak hesaplanmıştır. Değerlendirmesi yapılan kış sezonunda deney odasında meydana gelen ısı kaybının karşılanması için akümülyasyon tankında 36.25–37.50°C sıcaklığında su hazırlanmıştır. Bu süreçte sayaçtan sistemin tükettiği elektrik gücü toplamı (kompresör, fan coil paneli ve sirkülasyon pompaları) ortalama 2.11 kW olarak ölçülmüştür. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin belirlenen deney odasına aktardığı enerji miktarı 6.24-6.65 kW arasında değişim göstermekte ve dış hava sıcaklığının değişimi ile doğru orantılı olarak etkilenmektedir. Bununla birlikte tüm sistemin COP değeri 3.02-3.16 arasında tespit edilmiştir.

Kış sezonu boyunca incelenen sistemin üniteleri ile ilgili ekserji analizi sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek ekserji kaybı olan üniteler sırasıyla kompresör ve toprakaltı ısı değiştiricisi olarak belirlenmiştir. Sistemde

ekserji kaybı oranı en yüksek olan ünite ise kompresördür. Her ne kadar ilk bakışta evaporatördeki enerji kaybının kompresöre kıyasla yüksek olduğu görülse de ekserji kaybı kompresör ile mukayese edildiği zaman çok daha düşüktür. Ayrıca sistemde yapılan analizler neticesinde enerji verimliliği ve ekserji verimliliği birlikte değerlendirildiği zaman en verimsiz çalışan ünite olarak kompresör göze çarpmaktadır. Bu nedenle yapılması planlanacak iyileştirmeler için öncelikle kompresörün düşünülmesi gerekmektedir. Bu iyileştirmeler için düşünüldüğünde ilk öncelik olarak scroll tip kompresörün sistem çalışması esnasında devreye daha az girmesini sağlayacak şartların değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu amaçla ısı pompasına ait belirlenen çalışma sıcaklığı aralıkları sisteme ait yazılımda arttırılabilir. Böylece daha düşük sıcaklık rejimlerinde yüksek ısı konfor sağladığı bilinen toprak kaynaklı ısı pompasına ait kompresörün verimi arttırılmış olacaktır. Bu sayede de sistem daha uzun süreyle daha düşük sıcaklık rejimlerinde çalışabilecek ve scroll tip kompresörün veriminin artması sağlanacaktır. Sistemin bu şekilde çalışması ile hem ekserji kaybı azaltılmış olacak hem de elektrik tüketimi daha da azalacaktır. Diğer sistem ünitelerinde yapılması planlanacak iyileştirmeler ise olabildiğince maliyeti düşük ve enerji kaybının azaltılmasına yönelik tedbirler olmalıdır.

Sonuç olarak, genellikle birincil enerji kaynakları ile iklimlendirme ihtiyacını karşılayan Diyarbakır ili Bismil ilçesinde kullanılan yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin enerji tüketiminin azaltılarak enerjinin daha verimli kullanılması açısından değerlendirildiği zaman sistemin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Bu tip alternatif olabilecek sistemlerin tercih edilmesi enerjinin hem daha verimli kullanılmasını sağlarken hem de gerek ekonomi gerekse çevrenin korunması açısından kullanımının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Akan, A. E. ve Ünal, F.(2019). 4E Analysis of Thermal Power Plants, Theoretical Investigations and Applied Studies in Engineering, Chapter 17, 1st Edition, Ekin Publishing House, Turkey.
- [2] Akbulut, U., Utlu, Z., Kıncay, O., (2016).” Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system”, Energy, 107: 502-522
- [3] Ünal, F., Temir, G., Köten, H., (2018). “Energy, exergy and exergoeconomic analysis of solar-assisted vertical ground source heat pump system for heating season, Journal of Mechanical Science and Technology, 32(8): 3929-3942
- [4] Ünal, F., Temir, G., (2014). “Exergoeconomic Analysis Of The Ground Source Heat Pump For Cooling Season In The Mardin Province”, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32: 477-488
- [5] Ünal, F., Temir, G., (2017). “Thermodynamic Analysis of Cooling with Vertical Type Ground Source Heat Pump: Mardin Case Study”, International Journal of Scientific and Technological Research, 3(2):33-39.
- [6] Özyurt, O., Ekinci, D. A., (2011). “Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey”, Applied Energy, 88(4), 1257–1265.
- [7] Öztürk, M., Elbir, A., Yakut, A. K., Özsek, N., (2012). “Güneş destekli ısı pompasının enerji ve ekserji analizi”, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53(626), 46–55.
- [8] Kim, E., Lee, J., Jeong, Y., Hwang, Y., Lee, S. ve Park, N., (2012). “Performance Evaluation Under the Actual Operating Condition of a Vertical Heat Pump System in a School Building”, Energy and Buildings, 50: 1-6.
- [9] Fei L., Pingfang H., (2012). “Energy and Exergy Analysis of a Ground Water Heat Pump System” 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering Physics Procedia 24 (2012) 169 – 175.
- [10] Sarbu, I., Sebarchievici, C., (2014). “General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings”, Energy and Buildings, 70, 441–454.
- [11] Alkan, R., Kabul, A., Kızıllıkan, Ö., (2014). “Toprak Kaynaklı bir ısı pompasının Farklı soğutucu Akışkanlar için Termodinamik Analizi”, Journal of Thermal Science and Technology, 34(1), 27–34.
- [12] Luo, J., Rohn, J., Bayer, M., Priess, A., Wilkmann, L., Xiang, W., (2015). “Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany”, Geothermics, 53, 57–66.
- [13] Menberg, K., Heo, Y., Choi, W., Ooka, R., Choudhary, R., Shukuya, M. (2017). Exergy analysis of a hybrid ground-source heat pump system. Applied Energy, 204, 31–46.
- [14] Hepbaşlı, A., Akdemir, O. ve Hancıoğlu, E.,(2003). “Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System”, Energy Conversion and Management, 44: 527-548.
- [15] Özgener, Ö. ve Hepbaşlı, A., (2007). “Modeling and Performance Evaluation of Ground Source (Geothermal) Heat Pump Systems”, Energy and Buildings, 39: 66-75.
- [16] Ünal, F., Akan, A. E., (2017). “Thermodynamic Analysis of Heating with Solar Assisted Vertical Type Ground Source Heat Pump: Mardin Case Study”, International Journal of Scientific and Technological Research, 3(2):1-8.
- [17] Esen, H., (2007). Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.
- [18] Kılıç, İ., (2007). “Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Değişik Dizayn Yöntemlerinin Değerlendirilmesi”, ÇÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1):279-289.

Kesici Takım Geometrisinin Ti-6Al-4V'nin İşlenmesi Sırasında Oluşan Tırtıklı Talaş Üzerindeki Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Araştırılması

An Investigation into the Effect of Cutting Tool Geometry on the Formation of Serrated Chips during Machining of Ti-6Al-4V: Finite Element Approach

Okan Deniz Yılmaz^{1*}, Samad Nadimi Babil Oliaei²

¹ Atılım Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, okan.yilmaz@atilim.edu.tr

² Çankaya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, samet.akar@cankaya.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 24 Mart 2020
Düzeltilme: 28 Nisan 2020
Kabul: 29 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Talaşlı imalat, Sonlu Elemanlar yöntemi, tırtıklı talaş oluşumu, Ti-6Al-4V, Coulomb sürtünme katsayısı

ÖZET

Ti-6Al-4V titanyum alaşımının işlenmesi sırasında tırtıklı talaş (serrated chip) oluşumunun modellenmesi oldukça zordur ve takım ömrünü, işlenmiş parçanın doğruluğunu ve yüzey kalitesini etkilediği için hayati öneme sahiptir. Kesici uç geometrisinin tırtıklı talaş oluşumu üzerindeki etkisi daha ileri araştırmalar gerektirirken, termal yumuşama, deformasyon yumuşaması ve hasara dayanan modeller olmak üzere bu sorunu çözmek için çeşitli malzeme modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, teğet hiperbolik (TANH) fonksiyon kullanarak deformasyon yumuşama etkisini dikkate alan modifiye edilmiş bir Johnson-Cook temel malzeme modeli ele alınmıştır. Farklı geometrilere (talaş açısı, boşluk açısı ve kenar yarıçapı) sahip olan kesici takımların tırtıklı talaş oluşumu üzerinde etkileri modellenmiş ve analiz edilmiştir. Kesme kuvveti, talaş morfolojisi ve tırtıklı talaşın derecesi talaşlı imalat verisi olarak kullanılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.708814

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24 March 2020
Revised: 28 April 2020
Accepted: 29 April 2020

Keywords:

Machining, finite element method, serrated chip formation, Ti-6Al-4V, Coulomb friction coefficient

ABSTRACT

Modeling of serrated chip formation during machining of Ti-6Al-4V titanium alloy is quite challenging and is of vital importance, since it affects tool life, machined part accuracy and surface quality. Several material constitutive models are developed to address this issue, including models based on thermal softening, strain softening and damage, while the effect of cutting tool geometry on serrated chip formation requires further investigations. In this study, a modified Johnson-Cook constitutive material model which takes into account strain softening effect in the form of tangent hyperbolic function has been considered. Cutting tools having different geometries (rake angle, clearance angle and edge radius) are considered and modeled and their effect on serrated chip formation is analyzed. Cutting force, chip morphology and degree of serration are used as machining process outputs.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Okan Deniz YILMAZ
✉ okan.yilmaz@atilim.edu.tr

Giriş

Ti-6Al-4V biyomedikal, havacılık ve savunma sanayi dahil olmak üzere farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir [1, 2]. Ti-6Al-4V alaşımı, hem α stabilizatörleri (Ga, O, C, N, ve Al) hem de β stabilizatörleri (V, Mo, Mn, Cr, Ni, ve Fe) içeren ($\alpha + \beta$) titanyum alaşımıdır [1].

Ti-6Al-4V alaşımı, kesici takım malzemeleri ile yüksek kimyasal reaktivite gösterdiğinden kesici takıma yapışma eğilimindedir [3, 4]. Ayrıca, bu alaşımın düşük termal iletkenliği, kesici takımın ömrünü olumsuz etkileyen takım/iş parçası ara yüzünde sıcaklığın artmasına neden olur [5]. İlaveten, bu alaşımın yüksek sıcaklıklarda sağlamlığını koruyabilmesi ve düşük Young modülüne sahip olması bu alaşımı kesilmesi daha zor bir malzeme haline getirir [6].

Bu alaşımın işlenmesi sırasındaki en önemli gözlem, talaşların periyodik testere diş biçiminde oluşmasıdır. Bu literatürde, parçalı talaş (segmented chip) [7], testere dişli talaş (saw-tooth chip) [8-11], katastrofik kesme tipi talaş (catastrophic shear-type chip) [12] ve kesme lokalize talaş (shear localized chip) [13] olarak ifade edilmiştir. Tırtıklı talaşların oluşumu, kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara neden olur, takım aşınmasını hızlandırır ve işlenmiş yüzeyin kalitesini düşürür [14].

Araştırmalar, talaşların bölünme sıklığı ile kesme kuvvetlerinin dalgalanma sıklığı arasında bir uzlaşma olduğunu ortaya koymaktadır [15]. Bu nedenle, Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesi sırasında tırtıklı talaş oluşum mekanizmasının anlaşılması son derece önemlidir. Tırtıklı talaş oluşumunu incelemek için yapılan deneysel yöntemler pahalı ve zaman alıcı olduğundan, sonlu elemanlar yöntemi bu olguyu incelemede etkin ve ucuz bir yöntem olarak kullanılabilir [16].

Sonlu elemanlar yöntemi, sıcaklık dağılımı, gerilme ve gerinim seviyeleri ve kesme lokalizasyonu gibi işleme yöntemi çıktıları hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılar. ABAQUS / Explicit [4], DEFORM 2D [17] ve AdvantEdge [18] gibi düzlem gerinim (2D) modelleri kullanarak tırtıklı talaş oluşumunu

modellemek için çeşitli ticari sonlu eleman yazılımları kullanılabilir. Bu yazılımlar, metal kesme işlemlerinin simülasyonu için farklı algoritmalar kullanırlar. DEFORM 2D/3D ve ABAQUS/Standard programları kapalı (implicit) algoritmayı kullanırken, Third Wave AdvantEdge, ABAQUS/Explicit programları açık (explicit) algoritmayı kullanırlar.

Metal kesme işleminin doğru bir şekilde modellenmesi için sonlu eleman modeline doğru veriler girilmelidir; bunlar arasında, takım/talaş ve takım/iş parçası ara yüzlerindeki sürtünme ve temel malzeme modeli oldukça önemlidir. [16].

Ti-6Al-4V'nin işlenmesi sırasında tırtıklı talaş oluşumunu tahmin edebilmek için farklı temel malzeme modelleri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Kesici takım geometrisinin tırtıklı talaş oluşumu üzerindeki etkisini araştıran çok az çalışma vardır. Bu çalışmada, üç farklı takım geometrisinin (talaş açısı (rake angle), boşluk açısı (clearance angle) ve kenar yarıçapı (edge radius)) tırtıklı talaş üzerindeki etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, farklı geometrilere sahip kesici takımların oluşturdukları tırtıklı talaşların bölünme derecesine göre karşılaştırılmıştır.

Sonlu eleman yönteminin modellenmesi

Bu çalışmada, SFTC DEFORM-2D yazılımı, Ti-6Al-4V'nin dikey (ortogonal) kesimini modellemek için kullanılmıştır. Kesici takım rijit, iş parçası elasto-plastik malzeme olarak modellenmiştir [16, 18, 19].

Kesici takıma sabit bir sınır şartı uygulanırken, iş parçası kesme hızına eşit bir hızla kesici takıma doğru hareket etmektedir. Kesici takımın dış yüzeylerine ortam sıcaklığına eşit bir sıcaklık uygulanır. Kesici takımın yan yüzü ve talaş yüzü için çevresiyle ısı değişimi yapabilir şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca, çevresiyle ısı değişimi yapabilir durumu talaşın yüzeyine ilaveten iş parçasının üst yüzeyi için de tanımlanmıştır. İş parçası aynı zamanda dikey yönde de sınırlandırılmıştır, böylece yalnızca yatay yönde hareket edebilir.

Yaich ve diğ. [20] sonlu eleman yöntemi kullanarak Ti-6Al-4V malzemenin dikey işlenmesinin birçok simülasyonu yapmışlardır ve adaptif örme tekniğinin (adaptive meshing

techniques) ve sürtünmenin Lagrangian formülü ile beraber kullanılmasının sonlu eleman yönteminin doğruluğu için önemli olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışmada iş parçasının uzunluğu 3 ve genişliği 0.6 milimetre alınmıştır ve bu ölçüler bütün simülasyonlarda sabit tutulmuştur. İş parçası, DEFORM yazılımında bulunan maksimum eleman sayısı olan 10000 dörtkenar eleman (quadrilateral element) kullanılarak örülmüştür. Kesici takımın kenar yarıçapında daha sık eleman örebilmek için yeni örgü pencere (mesh window) tanımlanmıştır. Talaş kesme derinliği 20 dörtkenar eleman kullanılarak örülmüştür ve bu dörtkenar elemanların bir kenarı 5 µm uzunluğuna denk gelmektedir. Bu değer, Yaich ve diğ. [20] tarafından kullanılan 6 µm uzunluğuna yakındır ve simülasyon tahminlerinin doğru olduğunu göstermektedir.

Malzeme Modeli

Calamaz ve diğ. [18] tarafından geliştirilen modifiye edilmiş Johnson-Cook temel malzeme modeli bu çalışmada malzemenin termo-mekanik davranışını modellemek için kullanılmıştır. Birincil deformasyon bölgesine herhangi bir zarar vermeden oluşan adiyabatik kayma bandı, tırtıklı talaş oluşumunun ana nedeni olarak kabul edilir.

Tablo 1. Johnson-Cook malzeme modeli parametreleri [21]

Table 1. Johnson-Cook material model parameters [21]

A	n	B	C	m
[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]
968	0.421	380	0.0197	0.577

Bu modelde, malzemenin akış stresi, sırasıyla üç ayrı gerinim, gerinim hızı ve sıcaklık fonksiyonunun çarpımı olarak ifade edilir. Gerinim yumuşama etkisi, aşağıdaki şekilde hiperbolik tanjant (TANH) fonksiyonu formunda tanımlanır:

$$\sigma = \left(A + B\varepsilon^n \left(\frac{1}{\exp(\varepsilon^a)} \right) \right) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \times \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right) \left(D + (1 - D) \tanh \left(\frac{1}{(\varepsilon + S)^c} \right) \right) \quad (1)$$

ile

$$D = 1 - \left(\frac{T}{T_m} \right)^d \quad (2)$$

$$S = \left(\frac{T}{T_m} \right)^b \quad (3)$$

Burada, a, b, c ve d parametreleri malzeme modelinin kendi sabit değerleridir.

Tablo 2. Calamaz ve diğ. [18] malzeme modeli sabit parametreleri

Table 2. Calamaz et al. [18] material model constant parameters

a	b	c	d	$\dot{\varepsilon}_0$
[-]	[-]	[-]	[-]	[1/s]
1.6	0.4	6	1.5	1

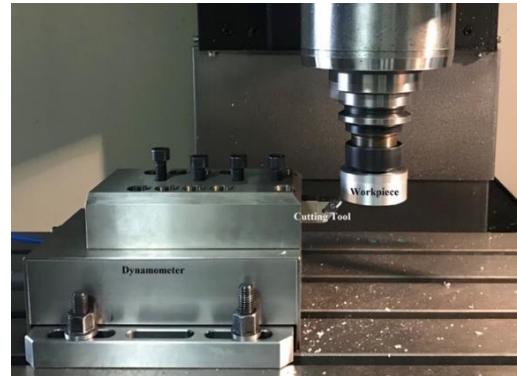
Sürtünme modeli

Takım/talaş ve takım/iş parçası ara yüzündeki sürtünme, metal kesme işlemi sırasında oluşan sıcaklığın, kuvvetin ve gerinin tahmin edilmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

Geleneksel dikey talaşlı imalat işlemlerinde, sürtünme katsayısı, Coulomb modeli kullanılarak hesaplanabilir.

$$\mu = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_t - F_c \tan \alpha} \quad (4)$$

F_c gerçek kesme kuvveti, F_t gerçek itme kuvvetidir ve α kesici takımın talaş açısıdır (rake angle).



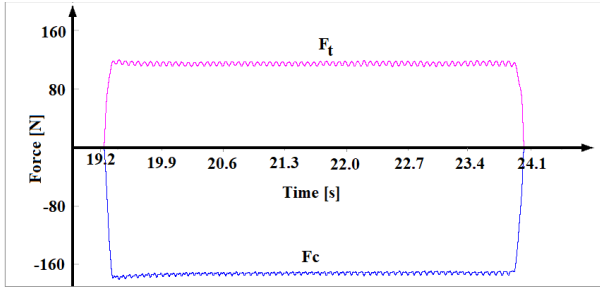
Şekil 1. Deney düzeneği

Figure 1. Experimental setup

Sürtünme katsayısını belirlemek için dikey kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme ve itme kuvvetleri Kistler 9265B Dinamometre, Kistler Dynoware DAQ 5697 ve DynoWare yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Örnekleme

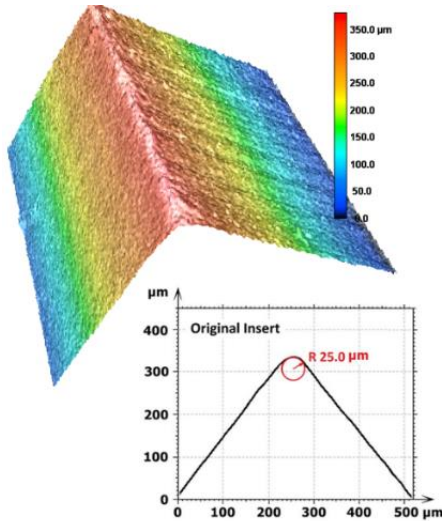
hızı (sampling rate) Dynoware yazılımında 10000 hertz alınmıştır. Ölçülen her kesme ve itme kuvveti için devir hızına (spindle speed) göre alçak geçirgen filtre (low pass filter) uygulanmıştır.

Şekil 1, deney düzeneğini ve Şekil 2, 60 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm kesilmemiş talaş kalınlığı için ölçülen kesme kuvvetlerini göstermektedir.



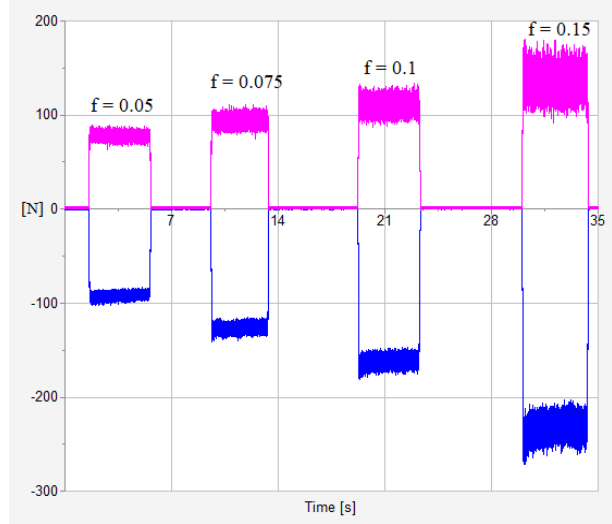
Şekil 2. Ölçülen kesme ve itme Kuvvetleri
Figure 2. Measured Cutting and Thrust Force

Kesici takımın (Sandvik DCMW 11 T3 04H13A) talaş açısı 0° , boşluk açısı 7° ve kenar yarıçapı $25 \mu\text{m}$ 3D lazer taramalı mikroskobu kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Ölçülen kesici takım kenar yarıçapı
Figure 3. Measured edge radius of the tool

Şekil 3'de kenar yarıçapı ölçülen takımın mikroskop resimleri görülebilir. Şekil 2'de 60 m/min kesme hızında ve 0.1 mm kesilmemiş talaş kalınlığı seçilerek yapılan deneyin kesme kuvveti ortalama 161 Newton, itme kuvveti ortalama 109.9 Newton ölçülmüştür.

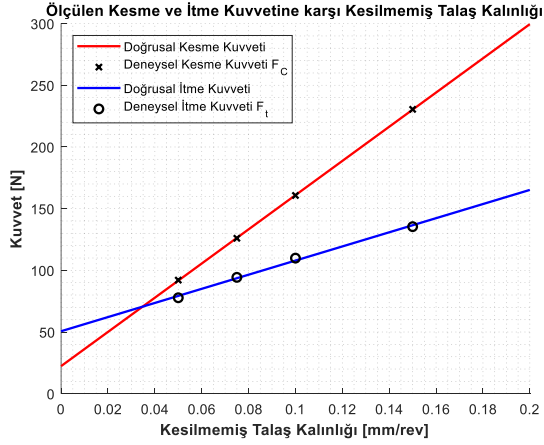


Şekil 4. Farklı kesilmemiş talaş kalınlığı için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri ($V_c=60$ m/min)

Figure 4. Measured cutting and thrust forces for different uncut chip thicknesses ($V_c=60$ m/min)

Takımın kenar yarıçapı $25 \mu\text{m}$ olduğundan sürme (ploughing) kuvveti yüksek olacaktır. Bu yüzden, ölçülen kesme ve itme kuvvetlerinden sürme kuvveti çıkarılmalıdır [22]. Sürme kuvvetlerinin değerini hesaplayabilmek için sabit kesme hızında (60 m/min) kesilmemiş talaş kalınlığını değiştirerek deneyler yapılmalıdır. Kesilmemiş talaş kalınlığı 0.05, 0.075, 0.1 ve 0.15 alınarak 60 m/min'da dikey kesme deneyleri yapılmıştır. Şekil 4'de bu deneyde elde edilmiş kesme ve itme kuvvetleri görülebilir.

Sürme itme ve kesme kuvvetini, kesilmemiş talaş kalınlığını sıfıra doğrusal fonksiyon çizerek hesaplayabiliriz. Ölçülen kuvvetleri kesilmemiş talaş kalınlığına doğrusal olarak çizdiğimizde hesaplanan sürme kuvvetleri kesme için 22.39 ve itme için 50.65 Newton'dur. Doğrusal fonksiyon çizilerek bulunan sürme itme ve sürme kesme kuvvetleri Şekil 5'de görülebilir.



Şekil 5. Sıfır kesilmemiş talaş kalınlığına çizilmiş doğrusal eğri

Figure 5. Linear curve fitting to a zero uncut chip thickness

Ölçülen kesme kuvvetlerinden sürme kuvvetleri çıkarıldığında gerçek kesme ve itme kuvvetleri elde edilir. Gerçek kesme ve itme kuvveti kullanılarak sürtünme katsayısı denklem 4 kullanılarak 0.41 olarak hesaplanmıştır.

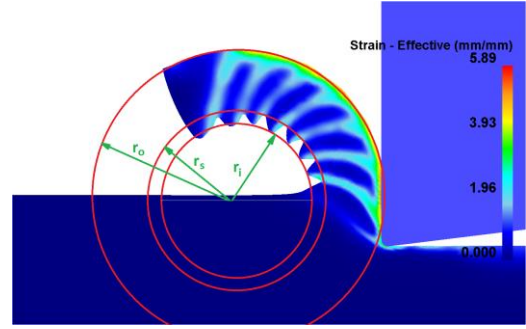
Bu çalışmada, kesici takım geometrisinin tırtıklı talaş oluşumuna etkisini incelemek için, 60 m/dak kesme hızında ve 0.1 mm kesilmemiş talaş kalınlığında talaşlı imalat simülasyonları yapılmıştır. Kesici takım geometrisi parametreleri Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. Simulasyonda denenen kesici takım geometrileri

Table 3. Cutting tool geometry used in simulation

Talaş Açısı	Kenar Yarıçapı [µm]	Boşluk açısı
-15 ⁰	Keskin	2 ⁰
-10 ⁰	10	7 ⁰
0 ⁰	20	
10 ⁰	50	
15 ⁰		

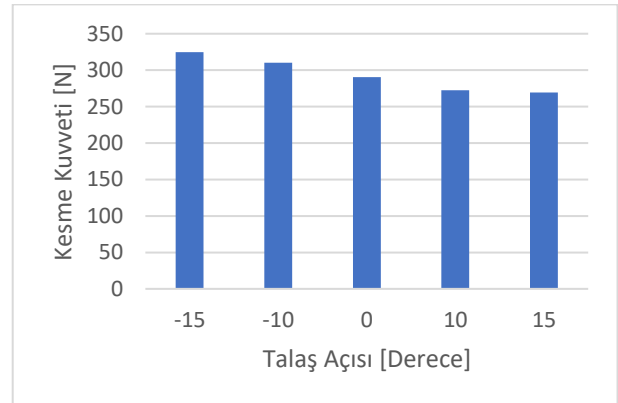
Tırtıklı talaşın derecesi, Şekil 6'da gösterildiği gibi tırtıklı talaş fenomenini [23] tanımlamak için dairenin üç yarıçapı kullanılarak ifade edilir. Şekil 6'ya göre, tırtıklı talaş derecesi şöyle tanımlanır.



Şekil 6. Tırtıklı talaşın derecesinin ölçülmesi
Figure 6. Measurement of degree of serration

Talaş açısının etkisi

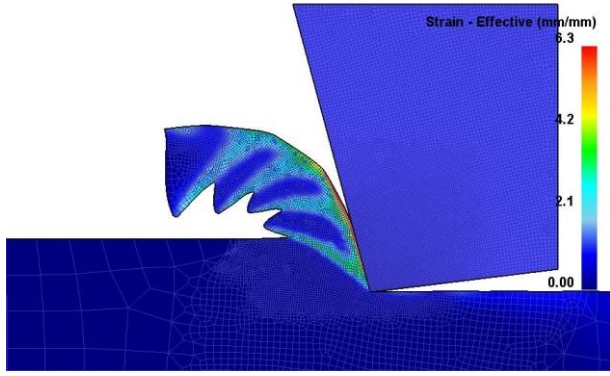
Talaş açısının talaş oluşumu üzerindeki etkisini analiz etmek için beş farklı talaş açısı (-15°, -10°, 0°, 10°, 15°) kullanılmıştır. Şekil 7'de, DEFORM yazılımı ile bulunan kesme kuvvetleri beş farklı talaş açısı (-15°, -10°, 0°, 10°, 15°), 7° boşluk açısı ve 10 µm kenar yarıçapı kullanılarak bulunmuştur. Şekil 8'de görülebileceği gibi, talaştaki testere dişlerinin talaş açısı arttıkça azaldığı görülebilir. Bu, talaş üzerindeki tırtık miktarı ile kesme kuvvetindeki dalgalanmalar arasında doğrudan bir ilişki olduğunu gösterir.



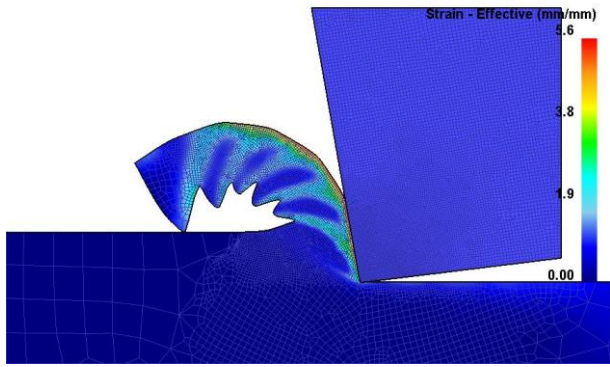
Şekil 7. Kesme açularına göre kesme kuvvetleri

Figure 7. Cutting force at various rake angles

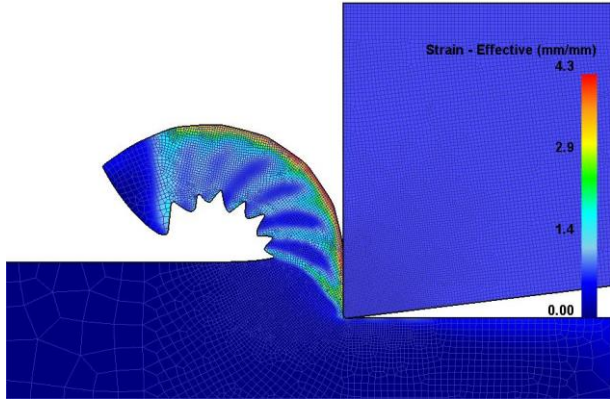
Şekil 8'te farklı talaş açıları için talaş morfolojisi gösterilmiştir.



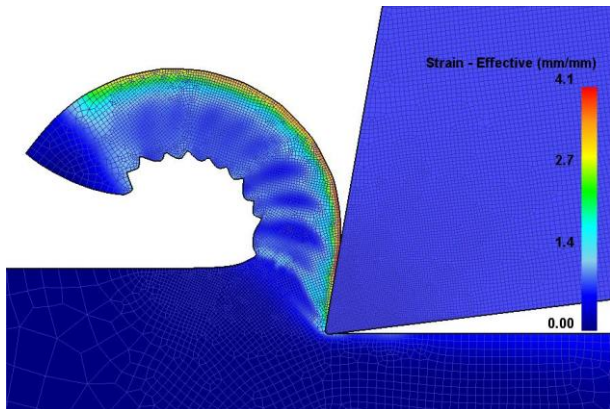
(a)



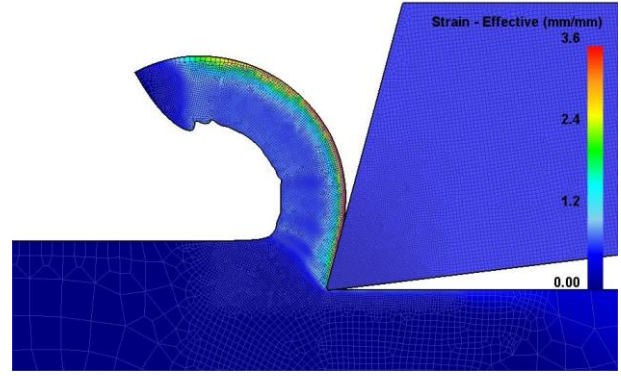
(b)



(c)



(d)

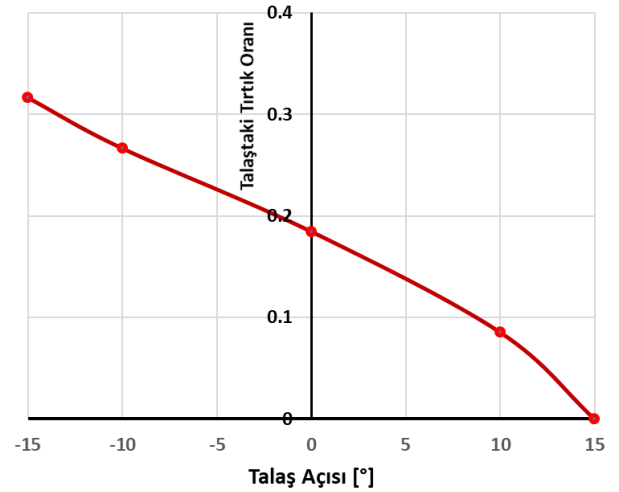


(e)

Şekil 8. Farklı talaş açılarında talaş morfolojisi a) Talaş açısı -15° b) Talaş açısı -10° c) Talaş açısı 0° d) Talaş açısı 10° e) Talaş açısı 15°

Figure 8. Chip morphology at various rake angles a) Rake -15° b) Rake -10° c) Rake 0° d) Rake 10° e) Rake 15°

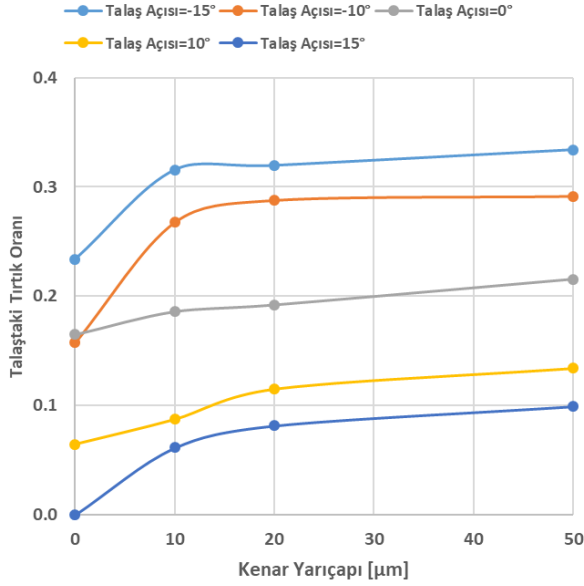
Şekil 8'de kenar yarıçapı ve boşluk açısının, tırtıklı talaş ve talaş eğrisi miktarının talaş açısının artmasıyla azaldığı ve talaş morfolojisi yüksek tırtıklı (-15° talaş açısı) olandan sürekli uzun talaşa (15° talaş açısı) evirildiği görülmektedir. Şekil 9'da talaş açısının fonksiyonu olarak talaş derecesi gösterilmektedir. Sonuçlar, talaş açısını artırarak talaş oranlarında bir düşüş olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Farklı talaş açıları için talaş derecesi. Figure 9. Degree of serration for different rake angles

Kenar yarıçapının etkisi

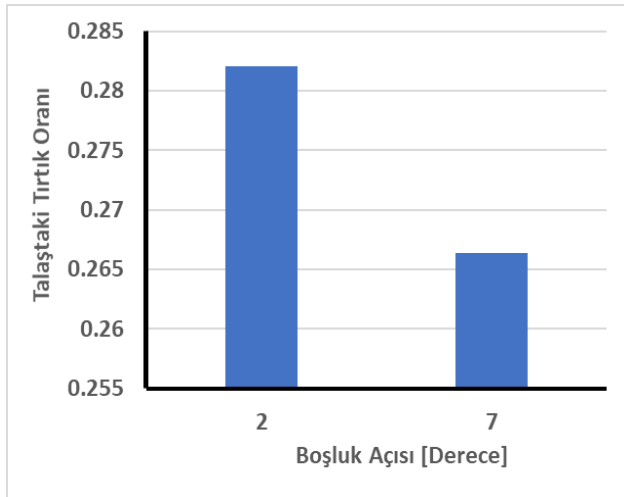
Kenar yarıçapı, metal kesme işleminde sürme (ploughing) kuvvetini doğrudan etkileyen bir değişkendir.



Şekil 10. Kenar yarıçapının talaştaki tırtık oranı üzerine etkisi.

Figure 10. Effect of edge radius on serration ratio

Farklı talaş açılarındaki farklı kenar yarıçapları ve 7° boşluk açısı için, talaştaki tırtık oranı Şekil 10'de gösterilmektedir. Kesici uç kenar yarıçapı arttıkça talaş derecesinin arttığı görülebilir.



Şekil 11. Farklı boşluk açısı için talaştaki tırtık oranı.

Figure 11. Serration ratio for different clearance angles

Boşluk açısının etkisi

2° ve 7° derecelik iki farklı boşluk açısı incelenmiştir. İki farklı boşluk açısının denenmesinin nedeni, boşluk açısı (clearance angle) sürtünme hareketinden dolayı sıfır veya negatif olamayacağı ve takım dayanıklılığını düşüreceği nedeniyle büyük olamamasıdır. Şekil 11'de, -10° talaş açısında ve 10 µm kenar yarıçapındaki talaştaki tırtık oranındaki değişim gösterilmektedir. Açıkça görülebileceği gibi boşluk açısı arttıkça, tırtıklı talaş oranı düşer. Benzer bir eğilim diğer kesici takım geometrileri için de gözlenmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımı işlenirken ortaya çıkan tırtıklı talaşın üzerindeki kesici takım geometrisinin etkisini incelemek için sonlu eleman yöntemi ile modellenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Talaş açısının (rake angle) talaştaki tırtık oranı üzerinde önemli bir etkisi vardır ve talaş açısını artırdığımızda talaştaki tırtık oranını düşer. Bu, iş parçasının yaşadığı plastik deformasyon miktarı ile ilgilidir. Plastik deformasyon miktarı arttıkça, açığa çıkan ısı miktarı artar, ve dolayısıyla birincil deformasyon bölgesinde daha fazla ısı birikir. Bu talaştaki tırtık sayısının artmasıyla sonuçlanacaktır.
- Takımın kenarı yarıçapı arttıkça, talaştaki tırtık oranı da artmaktadır.
- Boşluk açısı artarken, talaş yüzü ile iş parçasının işlenmiş yüzeyi arasındaki sürtünme azaldığından, işleme sırasında üretilen ısı miktarı azalır. Bu, boşluk açısı artarken tırtıklı talaş derecesinin azalmasına neden olur.

Teşekkür

Yazarlar, 3D lazer taramalı mikroskobunun kullanımı için Bilkent Üniversitesi Mikro Sistem Tasarım ve İmalat Araştırma Merkezine teşekkür eder. Özellikle, Doç. Dr. Yiğit Karpat'a ve Dr. Şakir Baytaroğlu'na yardımlarından dolayı şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- [1] N. Khanna and K.S. Sangwan, *Interrupted machining analysis for Ti6Al4V and Ti5553 titanium alloys using physical vapor deposition (PVD)-coated carbide inserts*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2013. 227(3): p. 465-470.
- [2] C. Leyens and M. Peters, *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*. 2003: John Wiley & Sons.
- [3] S.N.B. Oliaei and Y. Karpat, *Built-up edge effects on process outputs of titanium alloy micro milling*. Precision Engineering, 2017. 49: p. 305-315.
- [4] D. Umbrello, *Finite element simulation of conventional and high speed machining of Ti6Al4V alloy*. Journal of materials processing technology, 2008. 196(1-3): p. 79-87.
- [5] F. Ducobu, et al., *Finite element prediction of the tool wear influence in Ti6Al4V machining*. Procedia Cirp, 2015. 31: p. 124-129.
- [6] H. Hong, et al., *Machinability of steels and titanium alloys under lubrication*. Wear, 1993. 162: p. 34-39.
- [7] M. Elbestawi, A. Srivastava, and T. El-Wardany, *A model for chip formation during machining of hardened steel*. CIRP annals, 1996. 45(1): p. 71-76.
- [8] N. Ueda, T. Matsuo, and K. Uehara, *An analysis of saw-toothed chip formation*. CIRP Annals, 1982. 31(1): p. 81-84.
- [9] G. Ye, et al., *Critical cutting speed for onset of serrated chip flow in high speed machining*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2014. 86: p. 18-33.
- [10] A. Vyas and M. Shaw, *Mechanics of saw-tooth chip formation in metal cutting*. 1999.
- [11] G. Su, et al., *Influences of chip serration on micro-topography of machined surface in high-speed cutting*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2015. 89: p. 202-207.
- [12] B. Li, et al., *Simulated and experimental analysis on serrated chip formation for hard milling process*. Journal of Manufacturing Processes, 2019. 44: p. 337-348.
- [13] R. Komanduri and R. Brown, *On the mechanics of chip segmentation in machining*. 1981.
- [14] X. Xu, et al., *Effect of morphological evolution of serrated chips on surface formation during high speed cutting Ti6Al4V*. Procedia CIRP, 2018. 77: p. 147-150.
- [15] X. Cui, et al., *Chip formation and its effects on cutting force, tool temperature, tool stress, and cutting edge wear in high-and ultra-high-speed milling*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016. 83(1-4): p. 55-65.
- [16] Y. Karpat, *A modified material model for the finite element simulation of machining titanium alloy Ti-6Al-4V*. Machining Science and Technology, 2010. 14(3): p. 390-410.
- [17] M. Nikawa, et al., *FEM simulation for orthogonal cutting of Titanium-alloy considering ductile fracture to Johnson-Cook model*. Mechanical Engineering Journal, 2016. 3(2): p. 15-00536-15-00536.
- [18] M. Calamaz, D. Coupard, and F. Girot, *A new material model for 2D numerical simulation of serrated chip formation when machining titanium alloy Ti-6Al-4V*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008. 48(3-4): p. 275-288.
- [19] M. Sima and T. Özel, *Modified material constitutive models for serrated chip formation simulations and experimental validation in machining of titanium alloy Ti-6Al-4V*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010. 50(11): p. 943-960.
- [20] M. Yaich, et al., *A 2D finite element analysis of the effect of numerical parameters on the reliability of Ti6Al4V machining modeling*. Machining Science and Technology, 2020: p. 1-35.
- [21] L. Li and N. He. *A FEA study on mechanisms of saw-tooth chip deformation in high speed cutting of Ti-6Al-4V alloy*. in *Fifth international conference on high speed machining (HSM), Metz, France*. 2006.
- [22] Y. Guo and Y. Chou, *The determination of ploughing force and its influence on material properties in metal cutting*. Journal of Materials Processing Technology, 2004. 148(3): p. 368-375.
- [23] B. Wang and Z. Liu, *Shear localization sensitivity analysis for Johnson-Cook constitutive parameters on serrated chips in high speed machining of Ti6Al4V*. Simulation Modelling Practice and Theory, 2015. 55: p. 63-76.

Ti6Al4V Alaşımına Sol-Jel Yöntemi ile Yapılan Hidroksiapatit Kaplamalarda Dietanolaminin Kaplama Morfolojisine ve Korozyon Dayanımına Etkisi

Effect of Dietanolamine on Coating Morphology and Corrosion Resistance in Hydroxyapatite Coatings Made by Sol-Gel Method on Ti6Al4V Alloy

Canser Gül^{1*}, Serhat Mutaf², Hülya Durmuş³

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, ORCID: 0000-0002-1339-936X, canser.gul@cbu.edu.tr

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, ORCID: 0000-0003-0502-7176, mutafserhat@gmail.com

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, ORCID: 0000-0002-7270-562X, hulya.durmus@cbu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 28 Mart 2020
Düzeltilme: 10 Mayıs 2020
Kabul: 12 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Ti6Al4V, Sol-jel, Biyomalzemeler,
Hidroksiapatit, Dietanolamin

ÖZET

Titanyum ve alaşımları, mekanik dayanımları ve biyotolerant yapıda olmaları nedeni ile biyomalzeme uygulamalarında tercih edilirler. Fakat insan vücudu içinde korozyona uğraması durumunda zararlı iyonların salınımına neden olabilirler. Hidroksiapatit ise seramik ve biyoaktif yapıda bir malzeme olup biyomalzemelerin korozyon dayanımlarını arttırmaya yönelik kaplama tabakası olarak kullanımı da mevcuttur. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımının korozyon dayanımını geliştirmek amacı ile sol-jel yöntemi kullanılarak hidroksiapatit kaplamalar yapılmıştır. Hazırlanan hidroksiapatit solüsyonlarına farklı oranlarda dietanolamin (DEA, C₄H₁₁NO₂) eklenerek sol-jel prosesinde oluşması muhtemel olan çatlaklı yapılar kontrol edilmiş ve azaltılmaya çalışılmış ve kaplamanın genel morfolojisinde ve korozyon dayanımında meydana gelen değişikliklerin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Numuneler taramalı elektron mikroskopu (SEM-EDS) ve X-ışını kırınımı (XRD) kullanılarak analiz edilmiştir. Hazırlanan yapay vücut sıvısı içinde elektrokimyasal-potansiyodinamik korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda DEA katkı oranının artması ile morfolojide çatlaklı yapıların azaldığı ve kaplama kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. DEA eklenmesinin korozyon dayanımını arttırdığı fakat DEA miktarındaki artışın korozyon dayanımını negatif etkilediği görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.710557

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 March 2020
Revised: 10 May 2020
Accepted: 12 May 2020

Keywords:

Ti6Al4V, Sol-gel, Biomaterials,
Hydroxyapatite, Diethanolamine

ABSTRACT

Titanium and its alloys are preferred in biomaterial applications due to their mechanical strength and biotolerant structure. However, if they are corroded in the human body, they can cause the release of harmful ions. Hydroxyapatite is a ceramic and bioactive material, and it is also used as a coating layer for increasing the corrosion resistance of biomaterials. In this study, hydroxyapatite coatings were made using the sol-gel method to improve the corrosion resistance of Ti6Al4V alloy. By adding different ratios of diethanolamine (DEA, C₄H₁₁NO₂) to the prepared hydroxyapatite solutions, cracked structures that are likely to occur in the sol-gel process has been checked and tried to be reduced. It has been aimed to observe the changes in the overall morphology and corrosion resistance of the coatings. Samples were analyzed using scanning electron microscopy (SEM-EDS) and X-Ray diffraction (XRD). Electrochemical-potentiodynamic corrosion tests were carried out in the prepared simulated body fluid. As a result of the study, it was observed that the cracked structures and the coating thickness increased in morphology with the increase in the DEA contribution rate. It was seen that the addition of DEA increases the corrosion resistance, but the increase in the amount of DEA negatively affects the corrosion resistance.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Canser GÜL
✉ canser.gul@cbu.edu.tr

Giriş

Titanyum ve alaşımları yüksek korozyon dayanımları ve mekanik özellikleri nedeni ile biyomalzeme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [1, 2]. Kullanılan diğer metalik biyomalzemeler ile kıyaslandığında, paslanmaz çeliklere ve kobalt-krom alaşımlarına göre her ne kadar vücut ile etkileşimleri daha olumlu olsa da [3], kemik dokusunun entegrasyonu için önemli olan biyoaktiflik özelliğini göstermezler [2, 4].

Hidroksiapatit (HA, $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$) kemik ve dişlerde doğal olarak bulunan, 1,67 sitokiyometrik oranında Ca kalsiyum ve fostor elementlerini başlıca içeren bir kalsiyumfosfattır [5]. Bileşenlerinin bu denli kortikal kemiğe yakın olması, biyoaktiflik özelliğinin artmasına ve titanyum ve alaşımlarının gösteremediği osseointegrasyon özelliğini gösterebilmesini sağlamaktadır [6]. HA kaplama, titanyum ve alaşımları üzerine plazma sprej [7], sol-jel yöntemi [8], mikro ark oksidasyonu [9], darbeli lazer birikimi [10], elektroforez [11], hidrotermal-elektrokimyasal [12] yöntem ve benzeri çeşitli yöntemler kullanarak uygulanabilmektedir. Bu yöntemler arasında sol-jel yöntemi parametrelerin kolay kontrol edilebilmesi ve değiştirilebilmesi, çok çeşitli ve karmaşık şekilli parçalara uygulanabilmesi avantajını sağlaması, kaplama kalınlığının kolay ayarlanabilir olması, yüksek kimyasal saflıkta kaplama elde edilebilmesi ve ilk yatırım maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir [13, 14].

Uzun yıllardan beri çeşitli kaplama tabakaları sol-jel metodu kullanılarak elde edilmektedir. Bu metodun genel aşamaları jel oluşumu, yaşlandırma, kurutma ve sinterleme olarak nitelendirilmektedir [15]. Elde edilen silika jelini ıslak halden direkt olarak kurutarak bir silika monolit elde etmek oldukça zordur. Eğer bu işlem kontrollü bir biçimde gerçekleştirilmezse kurutma prosesleri sırasında yapıda yüksek oranda çatlaklar meydana gelmektedir [16, 17]. Kurutma işlemi sırasında

çözücülerin ve diğer düşük buharlaşma sıcaklığına sahip bileşenlerin uzaklaştırılması ile kapiler bir basınç meydana gelmektedir. Kapiler basınç kaplama solüsyonu ve altlık malzeme arasındaki yüzey gerilimine, yüzeyler arasında oluşan temas açısına ve solüsyonda mevcut gözeneklerin boyutuna bağlıdır. Kurutma işlemi sırasında oluşan gerilmeler ve büzölmeler sonucunda çatlaklar oluşmaktadır [15]. Haddow vd. [18], daldırma hızı, sinterleme sıcaklıkları ve sinterleme süresinin sol-jel yöntemi ile titanyum üzerine yapılan kaplamalara etkisini inceledikleri çalışmalar yapmışlardır. Aynı zamanda kullandıkları dietanolamin ile sinterleme sırasında ortaya çıkabilecek çatlakları en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda düşük ve yüksek daldırma hızlarında yapılan sinterleme işleminde, sıcaklığa bakılmaksızın dietanolamin eklenmesinin filmlerde çatlaklamayı azalttığını tespit etmişlerdir. Yaşlandırma işlemi ile de jelin mekanik mukavemetini artırmak veya kurutma kontrol kimyasalları gibi organik bileşenler kullanılarak, gözenekli ve çatlaklı yapı engellenebilmektedir [15]. Ayrıca, termal genleşme katsayıları genellikle farklı olan altlık malzeme ve kaplama tabakası arasında bir ara katman görevi üstlenerek, kurutma ve sinterleme aşamalarında genleşme farklılıkları nedeni ile oluşacak veya büyüyecek olan çatlakları engellemek amacıyla da ara katman olarak veya silika içerikli bu ara tabakalara eklenerek kullanımları da mevcuttur [19].

Yapılan bu çalışmada, Ti6Al4V alaşım numunelerinin üzerine sol-jel yöntemi kullanılarak hidroksiapatit kaplamalar yapılmıştır. Sol-jel yönteminde oluşması muhtemel çatlaklı yapıların azaltılabilmesi için hazırlanan solüsyona farklı miktarlarda DEA eklenmiştir. Toplamda 5 farklı oranda kimyasal içeren, farklı hidroksiapatit çözeltileri kullanılarak kaplamalar yapılmıştır. Bu solüsyonların, kaplama morfolojilerine etkileri taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ve X-Işını Kırınımı (XRD) kullanılarak incelenmiştir. Vücut içinde kullanıldığında

implantın korozyon dayanımını da geliştirmesi beklenen bu kaplamalar, karakterize edildikten sonra elektrokimyasal-potansiyodinamik korozyon testlerine de tabi tutulmuş ve simüle edilmiş insan vücudu içinde in-vitro ortamda korozyon dayanımları incelenmiştir.

Malzeme ve Metot

Uygun boyutlarda kesilen Ti6Al4V (GR5) altlık numuneler 180 grid SiC zımparalar kullanılarak mekanik olarak zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler ultrasonik banyoda aseton ve etanol kullanılarak temizlenmiş ve 5M'lık hazırlanan NaOH çözeltisi içine konulmuştur. Yüzeylerindeki oksit tabakasının kırılması için 50 °C sıcaklıkta bu solüsyon içinde 24 saat bekletilmiştir. Bu işlem ile yüzey aktifleştirilmiştir.

Hidroksiapatit çözeltisi iki farklı ana bileşen kullanılarak hazırlanmıştır. Kalsiyum nitrat tetrahidrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ve di-fosfor pentaoksit (P_2O_5) ayrı ayrı etanol içinde 15 dk çözdürülmüştür. Bu işlemden sonra kalsiyum içerikli solüsyon fosfor içerikli solüsyon içine damla damla eklenmiştir. Sonrasında oda sıcaklığında karıştırılan solüsyon katkı kimyasalları karıştırılmak üzere 5 farklı cam kaba ayrılmıştır. İlk solüsyon hiç katkı maddesi içermeyen HA solüsyonu olup S olarak isimlendirilmiştir. Diğer solüsyonlar ise sırasıyla hacimce % 1, 2, 3, 4 oranlarında DEA içermektedir ve sırasıyla D1, D2, D3 ve D4 şeklinde isimlendirilmiştir. Hazırlanan tüm

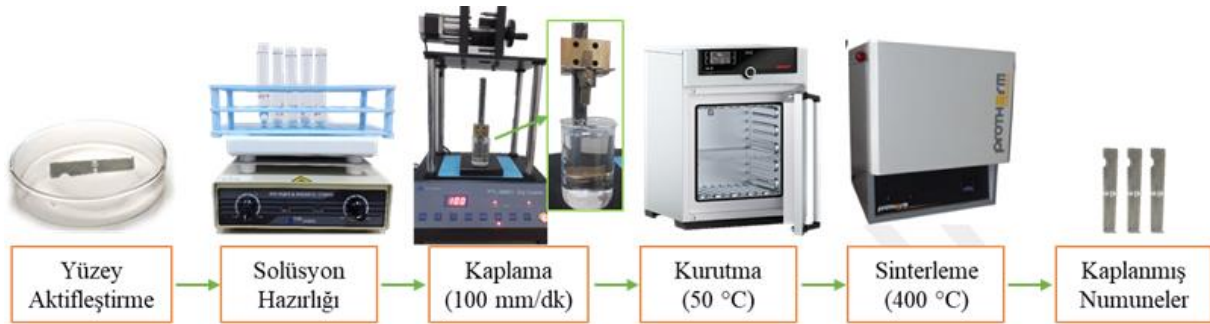
solüsyonlar oda sıcaklığında 5 saat karıştırıldıktan sonra saydam şeffaf renkte gözlemlenmiş, 48 saat oda sıcaklığında karıştırılmadan bekletilmiş ve sonrasında kaplamaya hazır hale gelmiştir.

Yüzey aktifleştirilen numuneler hazırlanan çözeltilere PTL-MM01 daldırma kaplama cihazı kullanılarak dikey bir şekilde daldırılmış ve 60 s solüsyon içinde bekletildikten sonra aynı şekilde geri çekilmiştir. Daldırma hızı 100 mm/dk olacak şekilde daldırılan numuneler kaplandıktan sonra 1°C/dk hız ile ısınan etüv içinde 50 °C sıcaklıkta 30 dk kurutulmuş, sonrasında 400 °C'de 1 saat süre ile sinterlenmiş ve fırın içinde soğumaya bırakılmıştır. Kaplama işlemi akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kaplanmamış ve farklı oranlarda kurutma kontrol kimyasalları içeren hidroksiapatit solüsyonları ile kaplanmış Ti6Al4V numunelerin yüzey morfolojileri ZEISS Gemini 500 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Bu cihaza ait enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ile noktasal ve bölgesel EDS analizleri yapılmış ve kaplamaların kimyasal değişimleri bu şekilde gözlemlenmiştir. Görüntüleme sırasında 5 ve 10 kV hızlandırma gerilimleri kullanılmıştır.

Kaplama kalınlıklarının belirlenmesinde ise Minitest 650 kaplama kalınlığı ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Kaplanmış numunelerin X-ışını analizleri Bruker D8 Advance marka X-ışını Difraktometresi (XRD) ile yapılmıştır. Saniyede

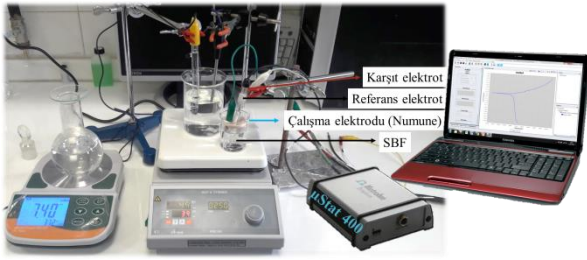


Şekil 1. Sol-Jel prosesi akış şeması

Figure 1. Sol-Gel process flow chart

0,03° derece tarama hızında $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5418$ Å) ışını, 30 mA akım ve 40 V voltaj kullanılmıştır. Taramalar 30-90° aralığında ayarlanmış ve yapısal analizler bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Korozyon deneyleri, Metrohm galvanostat/potansiyostat 400 ile, çalışma elektrodu olarak 1 cm² yüzey alanına sahip kaplanmış numune yüzeyi, karşıt elektrot olarak grafit elektrot ve referans elektrodu olarak doymuş kalomel elektrot içeren üç elektrotlu sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin korozyon davranışlarını incelemek için insan vücudunda bulunan ortam simüle edilmiş ve korozyon deneyleri insan vücudunda bulunan sıvı ile eşdeğer miktarda bileşenleri içeren yapay vücut sıvısı (SBF) hazırlanarak, 37 °C sıcaklıkta ve 7,4 pH değerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelere -500 mV ve 500 mV aralığında 1 mV/s hızda elektrokimyasal tarama yapılmıştır. Her bir ölçüm öncesi 5 dakika süre ile açık devre potansiyeli ölçülmüştür.



Şekil 2. Korozyon testi deney düzeneği

Figure 2. Corrosion test rig

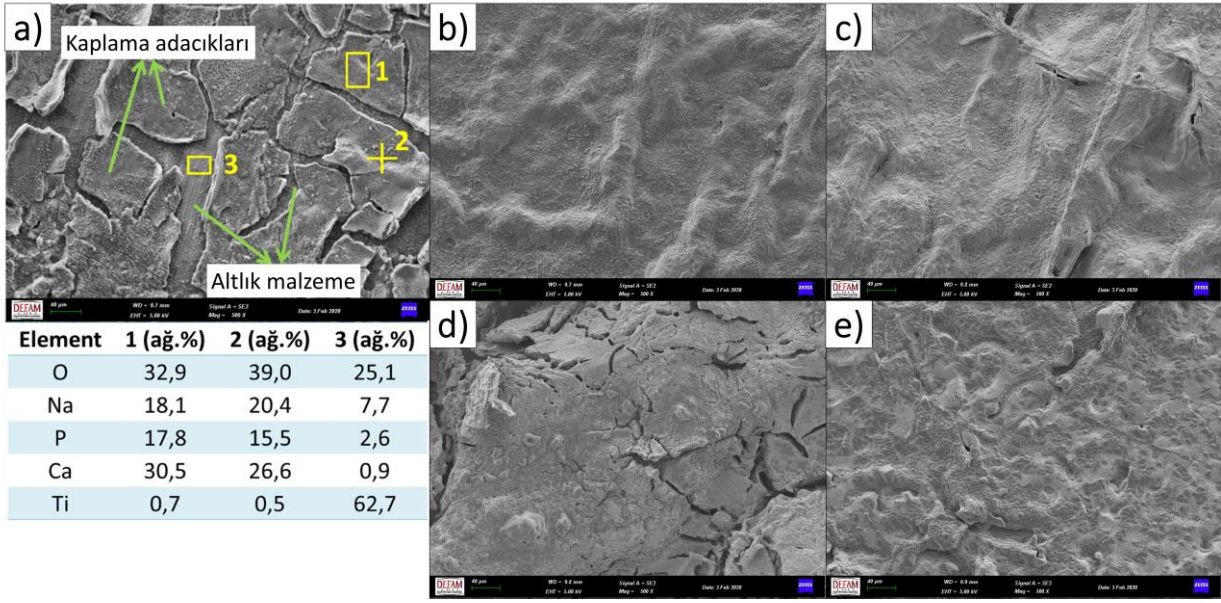
SBF hazırlanırken, Pasinli vd. [20], insan vücut sıvısına en yakın özellikteki bileşimi hazırladıklarını vurguladıkları çalışmada kullandıkları yöntem kullanılmıştır. 1 litre çözelti için; 6,547g NaCl, 2,268g NaHCO₃, 0,378g KCl, 0,178g Na₂HPO₄.2H₂O, 0,305g MgCl₂.6H₂O, 0,368g CaCl₂.2H₂O, 0,071g Na₂SO₄ ve 6,057g (CH₂OH)₃CNH₂ kullanılmıştır. Son bileşenin ilave edilip tamamen çözündürülmesinin ardından pH, hazırlanan 1 M HCl çözeltisi kullanılarak 7,4'e ayarlanmıştır. Bu yöntem ile vücut içinde mevcut bileşime en yakın bileşim elde edilmiş

ve korozyon deneylerinde de hazırlanan bu çözelti kullanılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Katkı maddesi içermeyen, HA ile kaplanmış S numunesine ait SEM-EDS görüntüsü ve sırasıyla hacimce % 1, 2, 3, 4 oranlarında DEA içeren HA ile kaplanmış numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Sadece HA içeren kaplama tabakası incelendiğinde yüzeyde kaplama adacıkları, DEA kullanılarak engellenmek istenen çatlaklar görülmektedir. Wang ve Bierwagen [19], çalışmalarında da benzer çatlaklı yapılara rastlanmıştır. Sol-jel yönteminde solüsyon içerisinde bulunan su ve çözücüler gerçekleştirilen kurutma ve sinterleme işlemleri sırasında yapıdan uzaklaşmaktadır ve bu durumun kontrolünü direkt olarak sağlamak mümkün olmadığı için bu çatlaklara rastlanabilmektedir [13].

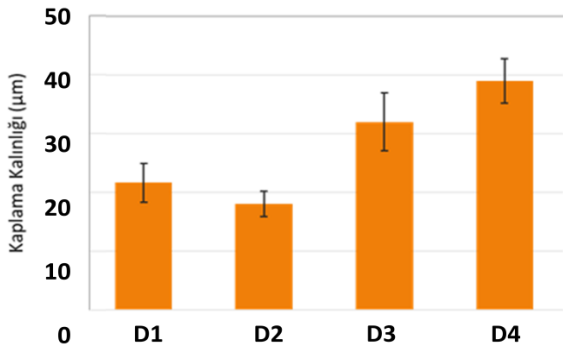
Şekil 3.a'da verilen EDS analizi verileri incelendiğinde 1 numaralı bölge HA ana bileşenleri olan Ca, P ve O içermektedir. Bunun yanı sıra altlık malzemesinden geldiği düşünülen Na ve Ti piklerinden de bir miktar gözlemlenmiştir. 2 numaralı noktasal EDS, diğer tabakalara göre daha pürüzlü olan bir bölgeden alınmıştır. Ayrıca kaplama tabakasına ait olduğu ve başlıca Ca, P ve O elementlerini içerdiği görülmüştür. 3 numaralı bölge çatlak ve ayrılmış kaplama adacıklarının aralarındaki kısımlardan alınmış ve beklendiği gibi Ti ve O elementlerini büyük oranda içerdiği gözlemlenmiştir. Altlık malzemesi olarak kullanılan Ti6Al4V alaşımı yüzey aktiveleme işlemi sırasında NaOH içinde bekletilmiş ve sonrasında kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum sonrasında yüzeye tam olarak tutunamayan kaplama tabakaları kuruma sırasında farklı sebepler ile çatlak ve bu çatlakları oluşturmuştur. Çatlaklı kısımlar ise yüzey aktiveleme işleminin ve sıcaklığın da etkisi ile titanyumun oksitlenmesine neden olmuştur. Bu nedenle çatlak bölgelerde Ti, Al



Şekil 3. HA ile kaplanmış S numunesine ve sırasıyla hacimce % 1, 2, 3, 4 oranlarında DEA içeren, a) S, b) D1, c) D2, d) D3 ve e) D4 numunelerine ait SEM görüntüleri

Figure 3. a) SEM-EDS image of S sample coated with HA and SEM images of b) D1, c) D2, d) D3 and e) D4 samples containing 1, 2, 3, 4 wt. % DEA respectively.

ve V elementlerinden ziyade Ti ve O elementleri gözlemlenmiştir. Şekil 3.b’de DEA eklenmesi ile numunedeki çatlakların çok büyük ölçüde önlendiği gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde DEA miktarındaki artış ile kaplama kalitesinin arttığı söylenemez. Fakat Şekil 3. b, c, d ve e numunelerinin hiç biri DEA eklenmemiş numune kadar çatlaklı bir yapıya sahip değildir.

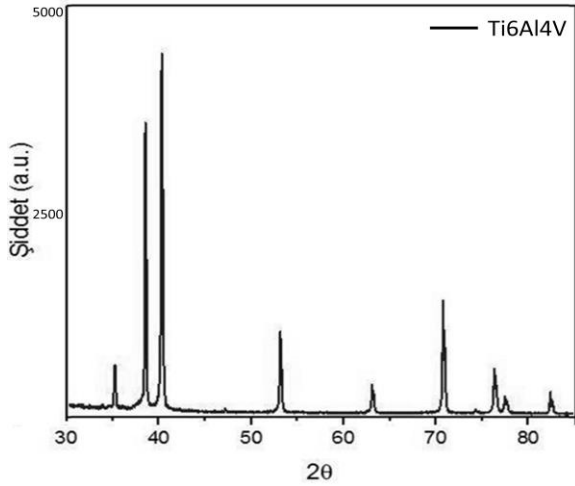


Şekil 4. Kaplama kalınlıkları

Figure 4. Coating thicknesses

Şekil 4’te kaplama kalınlıkları verilmiştir. S numunesi çatlaklı bir yapı içerdiğinden kaplama kalınlığı doğru sonuçlar vermemiş ve bu nedenle ölçüm grafiğinde verilmemiştir. DEA içerikli numuneler incelendiğinde, kaplama kalınlıklarının artmasının sebebi DEA miktarının artması ile solüsyonun daha yoğun bir şekilde elde edilmesi olarak gösterilebilir. Bu durum, kaplama kalınlığını arttırdığı gibi, kaplama tabakasının tutunabilirliğinin azalmasına ve bazı bölgelerde kaplama adacıklarının kenar kısımlarının havaya kalkmasına da neden olduğu da düşünülmektedir. Bu durum ise Şekil 3.d ve e’de bazı bölgelerde gözlemlenen mikro çatlaklar ile ilişkilendirilebilir.

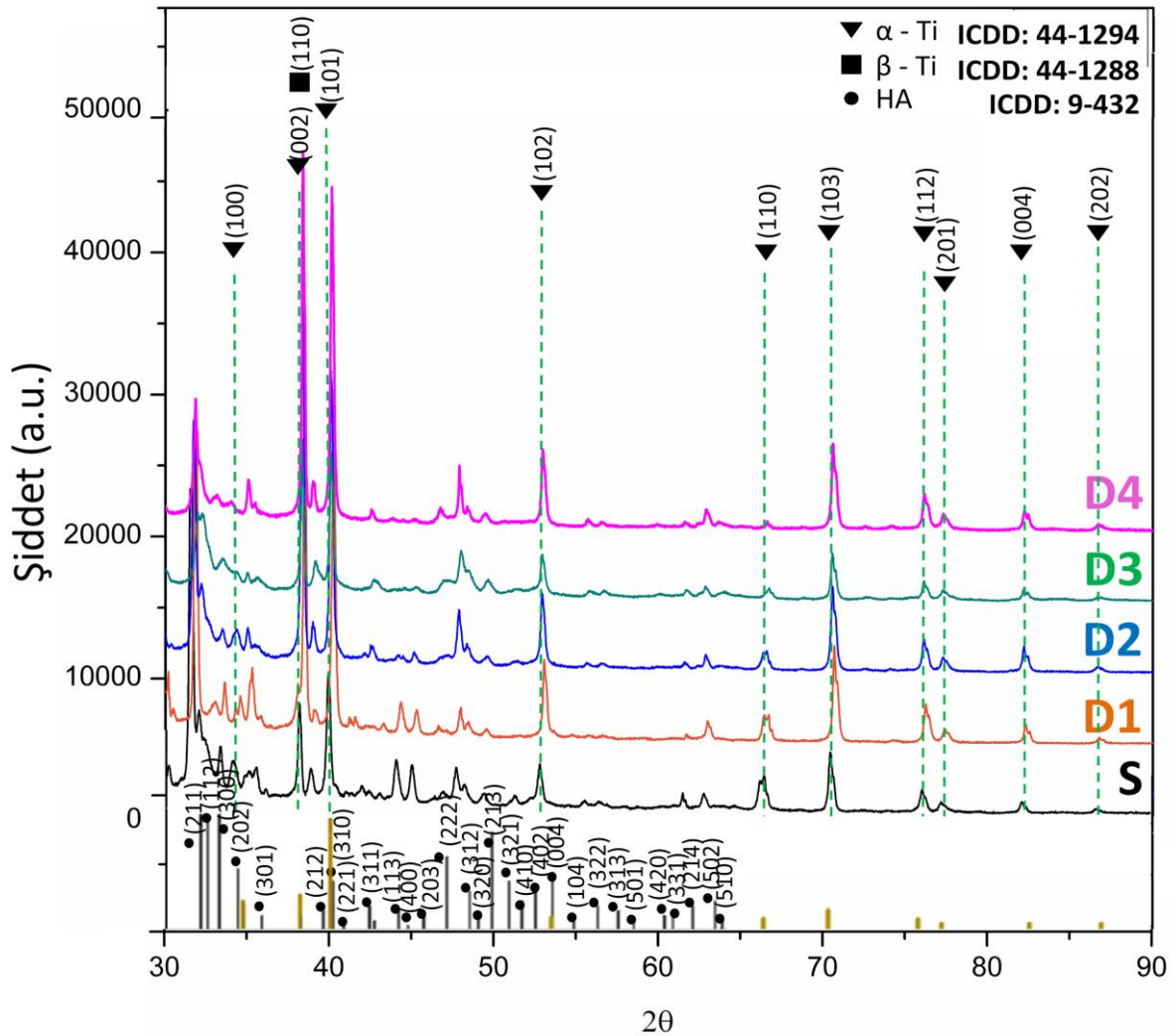
Şekil 5’te Ti6Al4V altlık malzemesine ait XRD grafiği verilmiştir. Ti6Al4V numunesi ICDD kart numaraları sırasıyla 44-1294 ve 44-1288 olan α -Ti ve β -Ti fazlarını içermektedir.



Şekil 5. Ti6Al4V altlığa ait XRD grafiği

Figure 5. XRD graphic of Ti6Al4V substrate

Farklı oranlarda DEA içeren D1, D2, D3, D4 ve DEA içermeyen S numunelerine ait XRD grafiği Şekil 6'da görülmektedir. Altlık malzemesinden gelen piklerin şiddetlerinin kaplama kalınlığının artması ile bir miktar azaldığı görülmüştür. Arafat vd. [21], yaptıkları çalışmada Ti6Al4V alaşımının farklı sıcaklıklardaki termal oksitlenme davranışlarını incelemiş ve sıcaklığın etkisi ile yapıda α -Ti ve β -Ti fazlarının haricinde oksitli fazlar da gözlemlenmiştir. Gözlemlenebilecek oksitli fazlar DEA içerikli solüsyon ile kaplanmış numunelerin XRD analizleri ile kıyaslanmış fakat oksitli herhangi bir pik



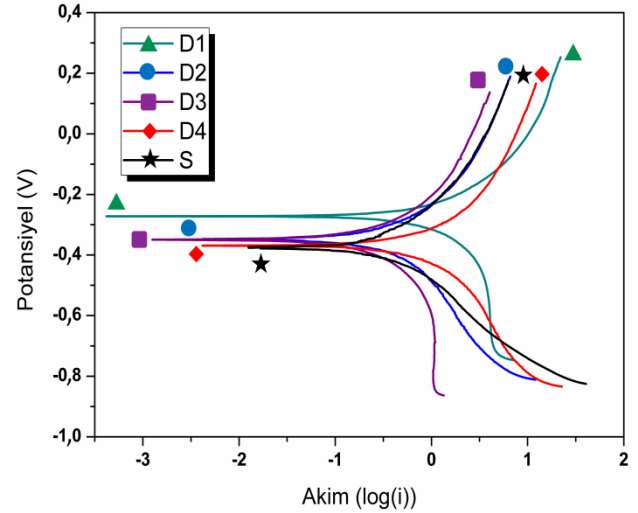
Şekil 6. Farklı oranlarda DEA içeren ve DEA içermeyen numunelere ait XRD grafiği

Figure 6. XRD graphs of samples with different ratios of DEA and without DEA

gözlemlenmemiştir. 35° ve $48-50^\circ$ arasında bulunan pikler incelendiğinde, DEA miktarının artması ile HA tabakasına ait piklerin şiddetlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Mevcut artışın bu piklerde daha net gözlemlenebilmesinin sebebi, pik şiddetlerinin diğer piklere kıyasla daha yüksek olmasıdır. Kaplanmış tüm numunelerde HA Ca/P stokiyometrik oranı 1,67 olacak şekilde elde edilebilmiş olup ICDD kart numarası 9-432'dir. Yapılan çalışmalarda sol-jel ile üretim sırasında oluşabilecek monotit veya trikalsiyum fosfat gibi bazı yapılar mevcuttur. Bu yapılar Ca/P stokiyometrik oranlarına göre farklılık göstermekte olup bu oran 1.2-2.0 arasında iken hidroksiapatit oluşumu gerçekleşmekte ve bu yapı kararlı olmaktadır [5]. A. Lugovskoy ve S. Lugovskoy [5], yaptıkları çalışmada okside edilmiş titanyum yüzeyler üzerinde HA tabakalar elde etmeyi amaçlamış ve bu çalışmada elde edilebilecek kalsiyum fosfat fazlarının $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dikalsiyum fosfat), $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Trikalsiyum fosfat), $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ (Tetrakalsiyum fosfat) ve $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (Hidroksiapatit, HA) olduğunu vurgulamıştır [5]. Anjaneyulu vd. [22], farklı sıcaklıklarda kalsine ederek HA tozları üretmiş ve 1000°C sıcaklığın altında kalsine ettiği toz numunelerde saf HA elde edebildiğini vurgulamıştır. Şekil 6'da gözlemlenen HA pikleri, bu çalışmada Anjaneyulu vd.'nin tespit ettikleri HA pikleri ile de örtüşmektedir.

Şekil 7'de SBF içinde uygulanan elektrokimyasal potansiyodinamik korozyon testi sonucunda elde edilen polarizasyon eğrileri verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm

numunelerde homojen korozyon gözlemlendiği ve lokal korozyona rastlanmadığı gözlemlenmiştir. S numunesinde beklendiği üzere diğer numuneler ile karşılaştırıldığında daha negatif korozyon potansiyeli ve daha düşük akım yoğunluğu görülmüştür. Diğer bir yandan D1 numunesine yani en düşük oranda DEA içeren kaplamaya ait eğrinin en yüksek potansiyel ve en yüksek korozyon akım yoğunluğu gösterdiği görülmektedir. Diğer eğriler incelendiğinde ise korozyon potansiyeli DEA miktarının en az olduğu D1 numunesinde optimum seviyede olduğu ve artan değerlerde lineer olmasa da durumu negatif etkilediği görülmüştür.



Şekil 7.SBF içinde elde edilen Tafel polarizasyon eğrileri

Figure 7. Tafel polarization curves obtained in SBF

Tablo 1. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları
Table 1. Potentiodynamic polarization results

Numune Adı	E _{corr} (V)	R _p (KOhm)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Korozyon hızı (mm/yıl)
S	-0,42071	132,5579	0,598243	0,05288
D1	-0,24636	62,7881	3,099883	0,27399
D2	-0,41794	156,7469	0,707637	0,062547
D3	-0,25384	262,747	0,973493	0,086043
D4	-0,40474	78,23247	1,51601	0,133997

Tablo 1. incelendiğinde Ecorr değerlerinde D1 ve D3 numunelerinin sifıra daha yakın değerlerde çıkması ve Icorr değerlerinin diğer numunelere kıyasla daha yüksek olması korozyon dayanımlarının daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir [23]. Bu durumda diğer numunelere ait eğriler ile karşılaştırıldığında D1 ve D2 numunelerinin daha iyi korozyon direncine sahip olduğu söylenebilir. D4 numunesinin korozyon dayanımının beklenenin aksine düşük olmasının sebebi ise SEM görüntülerinde de gözlemlenen mikro çatlaklardır. DEA miktarının arttırması kaplama kalınlıklarının artmasına bu durum kaplamaların yüzeye tutunabilirliğinin azalmasına ve mikro çatlakların oluşmasına neden olmuş ve dolayısı ile korozyon dayanımını azaltmıştır.

Sonuçlar

Yapılan çalışmada Ti6Al4V altlık malzemeler üzerine katkı maddesi içermeyen ve sırasıyla hacimce % 1, 2, 3 ve 4 oranlarında DEA içerecek şekilde HA içerikli kaplamalar yapılmış ve yapılan bu kaplamalarda DEA miktarının yüzey morfolojisine ve kaplamaların yapay vücut sıvısı içinde korozyon dayanımlarına etkileri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda DEA miktarının artması ile sol-jel yönteminin dezavantajlarından birini oluşturan ve sol-jel yöntemi ile kaplanmış kaplamalarda korozyon dayanımlarını genel olarak negatif yönde etkilediği düşünülen çatlaklı yapılar giderilmiş, altlık yüzeylerinde daha yoğun ve daha homojen bir kaplama tabakası elde edilmesi sağlanmıştır. Kaplama kalınlıkları, eklenen DEA miktarının artması ile artmıştır. Fakat DEA miktarının artması beklenenin aksine korozyon dayanımını arttırmamıştır. Kaplama solüsyonuna bir miktar DEA eklenmesi yüzey morfolojisini ve korozyon dayanımını iyileştirmiş fakat %4 DEA içeren numunede mikro çatlakların oluşmasına ve bu nedenle korozyon dayanımının düşmesine neden olduğu gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma MCBÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018-096 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar finansal destek için MCBÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Li, Q., Yang, W., Liu, C., Wang, D., Liang, J., (2017). Correlations between the growth mechanism and properties of micro-arc oxidation coatings on titanium alloy: Effects of electrolytes. *Surface & Coatings Technology*, **316**, 162-170.
- [2] Miranda G., Sousa, F., Costa, M. M., Bartolomeu, F., Silva, F. S., Carvalho, O., (2019). Surface design using laser technology for Ti6Al4V-hydroxyapatite implants. *Optics & Laser Technology*, **109**, 488-495.
- [3] Liu, X., Chu, P. K., Ding, C., (2004). Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications, *Materials Science and Engineering: R, Reports*, **47**, 49-121.
- [4] Yılmaz, B., Evis, Z., (2014). Titanyum Alaşımının Selenat Eklenmiş Hidroksiapatit ile Kaplanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14**, 335-339.
- [5] Lugovskoy, A., Lugovskoy, S., (2014). Production of hydroxyapatite layers on the plasma electrolytically oxidized surface of titanium alloys, *Materials Science and Engineering: C*, **43**, 527-532.
- [6] He, D., Du, J., Liu, P., Liu, X., Chen, X., Li, W., Zhang, K., Ma, F., (2019). Influence of EDTA-2Na on the hydroxyapatite coating deposited by hydrothermal-electrochemical method on Ti6Al4V surface, *Surface and Coatings Technology*, **365**, 242-247.
- [7] Huang, H., Lan, P.-H., Zhang, Y.-Q., Li, X.-K., Zhang, X., Yuan, C. F., Zheng, X. B., Guo, Z., (2015). Surface characterization and in vivo performance of plasma-sprayed hydroxyapatite-coated porous Ti6Al4V implants generated by electron beam melting, *Surface and Coatings Technology*, **283**, 80-88.
- [8] Garcia-Casas, A., Aguilera-Correa, J. J., Mediero, A., Esteban, J., Jimenez-Morales, A., (2019). Functionalization of sol-gel coatings with organophosphorus compounds for prosthetic devices, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **181**, 973-980.

- [9] Ayday, A., (2018). Mikro Ark oksidasyon işlemi ile kaplanan Ti6Al4V alaşımının yüzey karakterizasyonu ve korozyon özelliklerinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22**, 2, 243-247.
- [10] Ke, D., Vu, A. A., Bandyopadhyay, A., Bose, S., (2019). Compositionally graded doped hydroxyapatite coating on titanium using laser and plasma spray deposition for bone implants, *Acta Biomaterialia*, **84**, 414-423.
- [11] Pawlik, A., Ur Rehman, M. A., Nawaz, Q., Bastan, F. E., Sulka, G. D., Boccaccini, A. R., (2019). Fabrication and characterization of electrophoretically deposited chitosan-hydroxyapatite composite coatings on anodic titanium dioxide layers, *Electrochimica Acta*, **307**, 465-473.
- [12] Ban, S., Hasegawa, J., (2002). Morphological regulation and crystal growth of hydrothermal-electrochemically deposited apatite, *Biomaterials*, **23**, 14, 2965-2972.
- [13] Toygun, Ş., Köneçoğlu, G., Kalpaklı, Y., (2013). General Principles of sol-gel, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **31**, 456-476.
- [14] Batebi, K., Abbasi Khazaei, B., Afshar, A., (2018). Characterization of sol-gel derived silver/flour-hydroxyapatite composite coatings on titanium substrate, *Surface and Coatings Technology*, **352**, 522-528.
- [15] Nikolić, L., Radonjić, L., (1994). Effect of drying control chemical additives in Sol-Gel-Glass Monolith processing. *Ceramics International*, **20**, 5, 309-313.
- [16] Uchida, N., Ishiyama, N., Kato, Z., Uematsu, K., (1994). Chemical effects of DCCA to the sol-gel reaction process. *Journal of Materials Science*, **29**, 19, 5188-5192.
- [17] Robertson, S. F., Bandyopadhyay, A., Bose, S., (2019). Titania nanotube interface to increase adhesion strength of hydroxyapatite sol-gel coatings on Ti-6Al-4V, *Surface and Coatings Technology*, **372**, 140-147.
- [18] Haddow, D. B., Kothari, S., James, P. F., Short, R. D., Hatton, P. V., van Noort, R., (1996). The formation and characterization of sol-gel titania films, *Biomaterials*, **17**, 501-507.
- [19] Wang, D., Bierwagen, G., (2009). Sol-gel coatings on metals for corrosion protection, *Progress in Organic Coatings*, **64**, 4, 327-338.
- [20] Pasinli, A., Yuksel, M., Celik, E., Sener, S., Tas, A. C., (2010). A new approach in biomimetic synthesis of calcium phosphate coatings using lactic acid-Na lactate buffered body fluid solution. *Acta Biomaterialia*, **6**, 6, 2282-2288.
- [21] Arafat, M. M., Haseeb, A. S. M. A., Akbar, S. A., (2015). Growth and characterization of the oxide scales and core/shell nanowires on Ti-6Al-4V particles during thermal oxidation, *Ceramics International*, **41**, 3, 4401-4409.
- [22] Anjaneyulu, U., Priyadarshini, B., Arul Xavier Stango, S., Chellappa, M., Geetha, M. Vijayalakshmi, U., (2017). Preparation and characterisation of sol-gel-derived hydroxyapatite nanoparticles and its coatings on medical grade Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications, *Materials Technology*, **32**, 13, 800-814.
- [23] McCafferty, E., (2010) *Introduction to Corrosion Science*, Springer Press, Virginia.

Ti İmplantların Biyofilim Engelleme Amaçlı Nano hBN – HA ile Kaplanmasının Yüzey Karakteristiğine Etkisinin Belirlenmesi

Levent URTEKIN*

*Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kırşehir,
levent.urtekin@ahievran.edu.tr

Hicabi SEZGIN

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi Anabilim Dalı, Kırşehir,
hicabi.sezgin@ahievran.edu.tr

Ali SEVİM

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir,
ali.sevim@ahievran.edu.tr

Nuran AY

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
nay@eskisehir.edu.tr

Geliş: 18.04.2020, Revizyon: 28.06.2020, Kabul Tarihi: 29.06.2020

Öz

Birçok metal alaşımı implant uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metal alaşım yüzeylerine kolonize olan bakteriler implanta bağlı olarak enfeksiyon oluşturabilmektedir. Bu çalışmada implant yüzeyine hidroksiapatit ve nano hexagonal bornitrür ile kaplama yapılarak biyofilim ve buna bağlı enfeksiyon oluşumunu engellemek amaçlı yüzey karakteristiği tayin edilmiştir. Kaplama sonrası yüzeyde oluşan pürüzlülük değişimi, sertlik değişimi ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyo-yüzeyin *Staphylococcus aureus* bakterisine olan ilgisi araştırılmaya devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyofilim, kaplama, implant, Ti alaşım

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

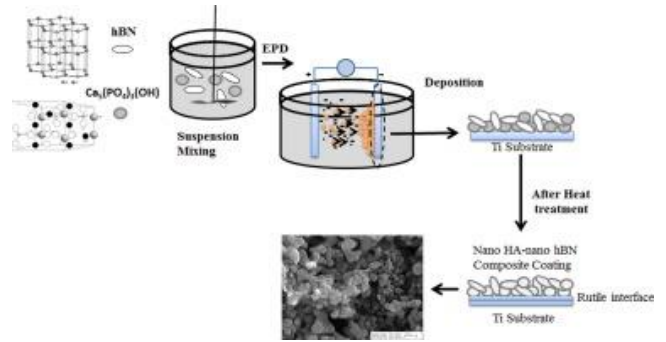
Travmatik kemik hasarının düzeltilmesi ortopedik cerrahi ile mümkündür. İyileşme süresi kırığa bağlı olarak değişir. Bu amaçla farklı implant materyalleri kemik kırığında kullanılmaktadır. Doğal insan kemik dokusuna en yakın organik ve inorganik maddelerden hidroksiapatitten yapılmış kompozit malzeme tercih edilir. Bundan dolayı Hidroksiapatit (HA) ortopedik implantlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kristal yapıya benzerliğinden dolayı kemik dokusu kusurlarının kimyasal olarak oluşması nedeniyle onarımı ve rekonstrüksiyonu HA ile mümkün olduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir. HA mükemmel biyo uyumluluk gösterir. Dezavantaj olarak ise ne yazık ki, HA ağır yüklemelerde kullanılamaz. Zayıf mekanik özelliklerinden dolayı çeşitli sıkıntılar meydana gelmektedir. HA kaplama, Titanyum ve alaşımları ve 316 L paslanmaz çeliklere uygulanmaktadır. Mekanik özellikleri (yüksek özgül mukavemet, kemik elastik modülü ile eşleşen düşük elastik modül doku) ve ayrıca yüksek korozyon direncine sahiptirler [1-6]. HA kompozit kaplama malzemelerini kaplamak için birçok teknik mevcuttur. Bunlar; daldırma kaplama, plazma spreyi, elektroforetik biriktirme, darbeli lazer püskürtme ve sol-jel işleme yöntemleridir. Bu kaplama teknikleri arasında çatlak içermeyen kaplamalar üretmek zor olsa da, elektroforetik biriktirme (EPD) yöntemi diğerlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. EPD kaplamanın kurulumda basitlik, düşük ekipman maliyeti, karmaşık şekil, birikim kalınlığının kontrolü kabiliyeti bulunmaktadır [7-8]. Birçok araştırmada HA kompozit kaplama Ag/Kitosan [9], TiO₂ [10], CNT [11], Al₂O₃ [12], ZrO₂ [13], Kitosan [14] MWNT [15], nanoY₂O₃ [16] yapmışlardır. HA kaplamanın yanı sıra çalışmada kaplanması düşünülen bir diğer malzeme ise hegzagonal bor nitrürüdür (hBN). hBN en önemli avantajı güçlü kovalent bağ yapısı ile zayıf Vander waals bağlarını sağlar. hBN'nin çok faydalı mükemmel mühendislik özellikleri vardır.

Bu çalışmada, elektroforetik biriktirme işlem parametreleri (biriktirme zaman, uygulanan voltaj, nano hBN konsantrasyonu) titanyum alaşımı yüzeyine kompozit kaplanması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında yüzey çatlağı olmaksızın nano hBN – HA kompozit kaplama üretimi elde edilerek biyofilim

deneyleri öncesi yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. Ti alaşımı üzerine kompozit kaplamalar, yüzeysel ve morfolojik incelemeler için yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi ile çalışma tamamlanmıştır. Kaplanan numuneler biyofilim testleri için hazır hale getirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında EPD kaplama tekniği kullanılmıştır. Toz formundaki hBN ve HA malzemenin Titanyum yüzeyine homojen olarak kaplanması EPD tekniği ile yapılmıştır. EPD kaplama tekniği iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada etanol içinde süspansiyon edilen yüklü kaplama tozlarının (hBN ve HA) zıt yüklü elektrota doğru hareketi gerçekleşmiştir. İkinci aşamada ise tozların (hBN ve HA) zıt elektrotta tutunarak Titanyum yüzeyinde kaplaması oluşmuştur. Şekil 1'de EPD yöntemi ile kaplama yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1. EPD Yönteminin Şematik Gösterimi [17]

Hidroksiapatit (HA, Nanotech Advance Technology and Electric Electronic Systems Ltd., Eskişehir, Türkiye) ve hegzagonal bor nitrür (hBN, BORTEK Boron Technologies and Mechatronics Inc., Eskişehir, Türkiye) kaplama tozları olarak kullanılırken etanol (Absolute, SIGMA-ALDRICH, USA) süspansiyon hazırlamada dağıtıcı ortam olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça %100 hBN kaplamaları elde edebilmek için hBN kitosan (ACROS ORGANICS, moleküler ağırlık, 100,000-300,000), saf su ve etanol karışımında dağıtılmıştır. Kaplamalarda ticari saflıkta titanyum (Ti, grade 4, Timet, Türkiye) kullanılmıştır. Tüm kaplamalar doğru akım (direct current, DC) güç kaynağı (BioRAD Power Pac Basic) kullanılarak elektroforetik biriktirme yöntemi (electrophoretic deposition, EPD) ile kaplanmıştır. Kaplamaların ısıtma işlemleri tüp fırında (PROTHERM FURNACE)

argon atmosferinde (yüksek saflıkta) gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü profilometre (MITUTOYO, SurfTest SJ-401) ile karakterize edilmiştir. SEM görüntüleri DPU-İLTEM laboratuvarında bulunan FESEM (alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

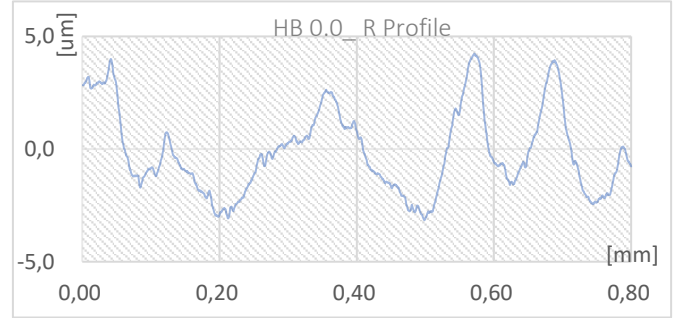
HA ve HA-hBN(HA'nın ağırlıkça % 10 hBN içerir) tozları etanol ortamında manyetik olarak 15 dakika karıştırılarak süspansiyonlar oluşturulmuştur. Süspansiyonlara 1 saat ultrasonik işlem uygulanmıştır. Sonra hacimce %10 DMF eklenmiş ve pH değeri 4'e ayarlanmıştır. hBN süspansiyonu için önce kitosan içeren çözelti hazırlanmıştır. Elde edilen çözeltiye ağırlıkça %0,1 hBN ilave edilip 15 dakika ultrasonik banyoda tutulmuş ve pH'ı 3,5 olarak ayarlanmıştır. Ti levha 1x1 cm² yüzey alanına sahip olacak şekilde kesilmiş, #320 ve #500 grid SiC zımpara kâğıtlarında yüzeyleri benzer özelliklere getirildikten sonra sırasıyla 15 dakika deterjan içerisinde 15 dakika aseton içerisinde ultrasonik banyoda temizlik işlemleri yapılmıştır. Kaplama işlemlerinde kullanılan elektrotlar Ti plakalardan oluşturulmuştur. Elektrotlar birbirine paralel ve aralarındaki mesafe 10 mm'dir. Ti plakaların hazırlanan HA ve HA-hBN kompozit kaplamalar DC 50 volt 1 dakika ile gerçekleştirilmiştir. hBN kaplamalar DC 30 volt 2 dakikada elde edilmiştir. HA, HA-hBN ve hBN kaplamalar içerdikleri hBN miktarına göre sırasıyla HB 0.0, HB 10 ve HB 100.0 olarak kodlanmıştır. HB0.0 ve HB10.0 kodlu kaplamalar argon atmosferinde tüp fırında 1° C/dak. ısıtma ve soğutma hızı ile 800°C' de 2 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulmuştur. HB 100.0 kodlu kaplamalar ise oda koşullarında sadece kurutulmuş olup ısıl işleme tabi tutulmamıştır.

Yüzey pürüzlülükleri profilometre ile 5 farklı yerden (her bir köşeden merkeze doğru ve merkezden dışa doğru) ölçülmüştür. Mikro-sertlik deneyleri her numune için üç farklı noktada yapılmış ve ortalama HV değeri deneysel sonuçlar kısmında verilmiştir.

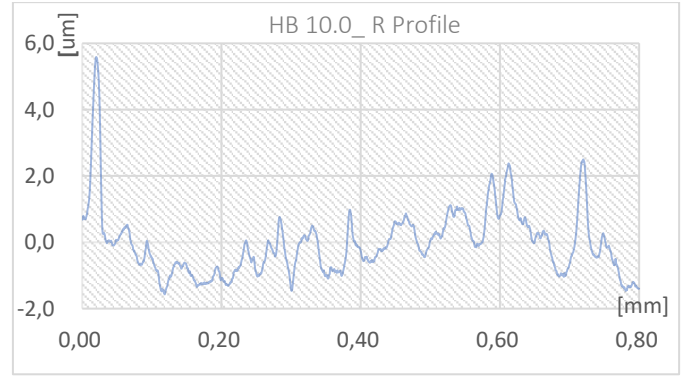
Deneysel Sonuçlar

Şekil 2-4 'de Ti yüzey kaplaması sonrası yüzey pürüzlülük grafikleri verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda HA+hBN kaplı yüzeyin yüzey pürüzlülük değeri HA kaplama ile yapılan

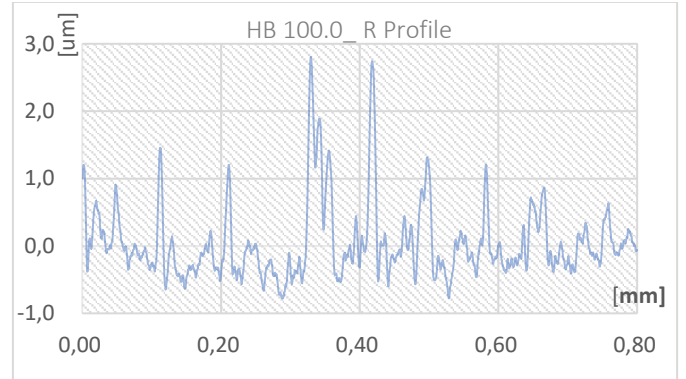
yüzeyden bir miktar yüksek elde edilmiştir. hBN ile yapılan kaplamada ise yüzey pürüzlülüğünün en düşük seviyede olduğu ölçülmüştür.



Şekil 2. HB 0.0 numunesinin yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 3. HB 10.0 numunesinin yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 4. HB 100.0 numunesinin yüzey pürüzlülük grafiği

Tablo 1'de yüzey kaplama sonrası elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü değerleri

	HB 0.0	HB 10.0	HB 100.0
Ortalama (µm)	1,5475	1,6420	0,3860
Standart sapma (±)	0,4401	0,1799	0,0326

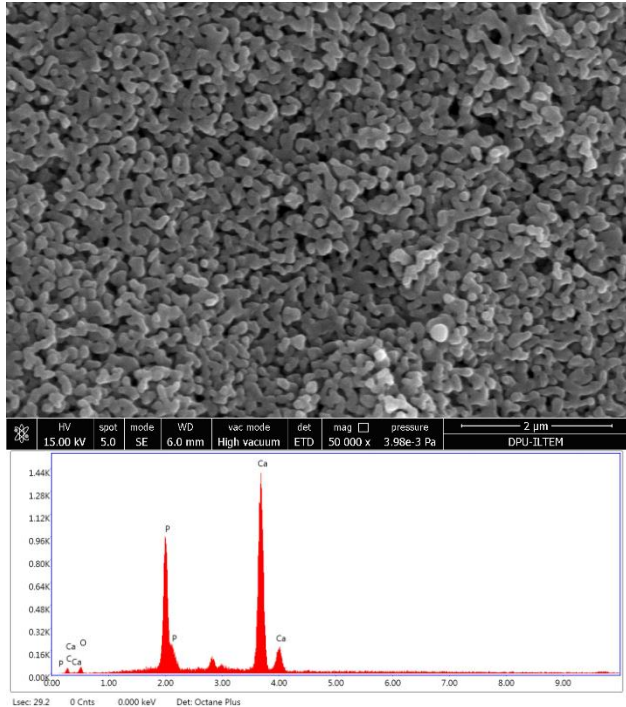
Nano HBN tozlarının kullanıldığı kaplamalarda yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü görülmektedir. %100 HA ve %100 hBN tozları kullanılarak kaplanan numunelerde sırasıyla en yüksek ve en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerinin artması ile bakteri oluşumunun arttığı, zıttı durumlarda ise azaldığı bilinmektedir.

Tablo 2.'demikro sertlik sonrası elde edilen deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. Mikro-sertlik değerleri

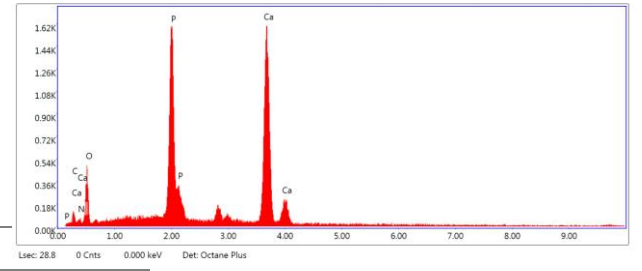
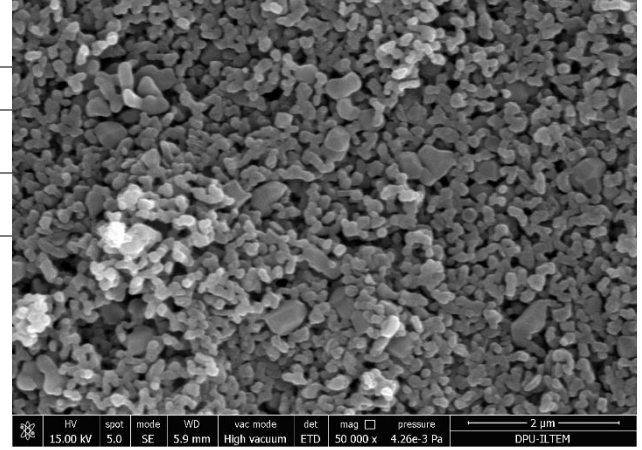
	Ti	HB 100.0	HB 0.0
H	236.29	163.19	6.73
V			

Kaplama sonrası SEM ve EDX verileri Şekil 5-7'de gösterilmiştir. 2 mikronluk ölçek ve 50.000 büyütme için SEM görüntüleri alınmıştır.



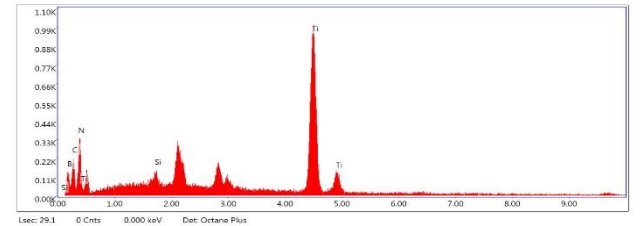
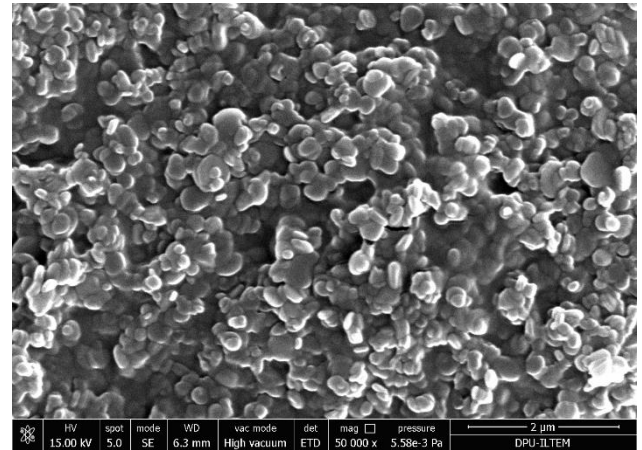
Element	Weight %	Atomic %
CK	1.74	4.53
OK	10.65	20.83
PK	27.18	27.46
CaK	60.43	47.19

Şekil 5. HB 0.0 numunesinin SEM ve EDX analizi



Element	Weight %	Atomic %
CK	1.51	3.90
NK	1.73	3.83
OK	9.56	18.53
PK	27.52	27.55
CaK	59.69	46.19

Şekil 6. HB 10.0 numunesinin SEM ve EDX analizi



Element	Weight %	Atomic %
B K	16.11	37.15
C K	6.35	13.18
N K	7.10	12.64
SiK	1.04	0.92
TiK	69.40	36.11

Şekil 7. HB 100.0 numunesinin SEM ve EDX analizi

Şekil 5-6'da görüldüğü üzere HA içeriğinden kaynaklanan Ca elementi EDS analizinde görülmektedir. Şekil 7'de ise hBN kaplamadan dolayı B ve N elementleri EDS analizinde görülmüştür.

Sonuçlar ve Tartışma

Birçok metal alaşım implant uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metal alaşım yüzeylerine kolonize olan bakteriler implanta bağlı olarak enfeksiyon oluşturabilmektedir. Bu çalışmada implant yüzeyine hidroksiapatit ve nano hexagonal bornitrür ile kaplama yapılarak biyofilim ve buna bağlı enfeksiyon oluşumunu engellemek amaçlı yüzey karakteristiği tayin edilmiştir. Kaplama sonrası yüzeyde oluşan pürüzlülük değişimi, sertlik değişimi ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak dört farklı malzeme (Kaplamaless Ti alaşımı, HA, nano hBN, nano (hBN+HA)) için kaplama ve yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen kaplamaların biyofilm oluşturan *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı anti-biyofilm özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Şimdiye kadar yapılan pek çok araştırma diş plağı oluşum miktarının, oluşan bu plakaların olgunluğunun ve hareketli çubuk şeklindeki bakterilerin sayısındaki artışın metal yüzeylerin pürüzlülüğünün artması ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir [18]. Amoroso ve ark. 2006, [19] yaptıkları bir çalışmada *Porphyromonas gingivalis* bakterisinin metal yüzeylere yapışmasının çok daha düşük titanyum yüzeylerde ($R_a=34,57$) en alt seviyede olduğunu belirlemişlerdir. Benzer sonuçlar *in vitro* olarak test edilen üç farklı titanyum yüzeyde de *Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis* ve *Fusobacterium*

nucleatum bakterilerinin yüzey pürüzlülüğü ile yapışma oranının doğru orantılı olduğu gösterilmiştir [20-21]. Benzer örnekler ortopedik implant uygulamalarında ve farklı bakteriler içinde gösterilmiştir [22]. Buna ilave olarak, bor ile kaplı bileşiklerin antibakteriyal özelliği ve bakterilerin biyofilm oluşturma yeteneğinin engellenmesi bilinen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [23-24]. Göncü ve ark. [17], yaptıkları çalışmada; ağırlıkça %1 HA süspansiyon ile % ağırlıkça 0-2.0-5.0-10.0 nano-hBN ile karışım hazırlayarak kompozit kaplama yapmışlardır. Yapılan çalışmada Ti yüzeyinde oluşan zeta potansiyeli, kaplama kalınlığı, XRD analizi, SEM analizi ve EDS analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonunda mekanik testlerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Yüzey pürüzlülük ve sertlik testleri yapılmamıştır. Ayrıca %100 hBN ile kaplama için bahsi geçen deneyler çalışmada yer almamaktadır.

Bütün bu özellikler dikkate alındığında bu çalışmada hidroksiapatit ve nano hekzagonal bor nitrür kaplı titanyum metallerinin biyofilm oluşturan ve implant kaynaklı enfeksiyonlara neden olan bakterilere karşı etkili olabileceği düşünülmektedir. Fakat bunu doğrulamak ve bu implant olarak düşünülen metallerin diğer özelliklerinin belirlemeye yönelik diğer araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Çalışma MMF.A4.18.003'nolu Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi BAP projesince desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Bosco R., Van Den Beucken J., Leeuwenburgh S., Jansen J., 2012, *Surface engineering for bone implants: a trend from passive to active surfaces*, Coatings vol. 2 pp. 95.
- [2] Narayanan R., Seshadri S.K., Kwon T.Y., Kim K.H. 2008, *Calcium phosphate-based coatings on titanium and its alloys*, J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater. vol. 85B pp. 279.
- [3] Javidi M., Javadpour S., Bahrololoom M.E., Ma,J., 2008, *Electrophoretic deposition of natural hydroxyapatite on medical grade 316L stainless steel*, Mater. Sci. Eng. C Biomim. Supramol. Syst. vol. 28 pp. 1509.

- [4] Iqbal N., Nazir R., Asif, A., Chaudhry A.A., Akram M., Fan G.Y., Akram A., Amin R., Park S.H., Hussain R., 2012, *Electrophoretic deposition of PVA coated hydroxyapatite on 316L stainless steel*, Curr. Appl. Phys., vol. 12 pp. 755.
- [5] Mohseni E., Zalnezhad E., Bushroa A., 2014, *Comparative investigation on the adhesion of hydroxyapatite coating on Ti-6Al-4V implant: a review paper*, Int. J. Adhes. Adhes. vol.48 pp. 238.
- [6] Kim H.W., Koh, Y.H., Li L.H., Lee S., Kim H.E., 2004, *Hydroxyapatite coating on titanium substrate with titania buffer layer processed by sol-gel method*, Biomaterials, vol. 25 pp. 2533.
- [7] Besra L., Liu M., 2007, *A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD)*, Prog. Mater. Sci. vol. 52 pp. 1.
- [8] Boccaccini A.R., Keim S., Ma R., Li, Y., Zhitomirsky I., 2010, *Electrophoretic deposition of biomaterials*, J. R. Soc. Interface, vol. 7 pp. 581.
- [9] Pang X., Zhitomirsky I., 2008, *Electrodeposition of hydroxyapatite-silver-chitosan nanocomposite coatings*, Surf. Coat. Technol., vol. 202 pp. 3815.
- [10] Farnoush H., Aldıç G., Çimenoglu H., 2015 *Functionally graded HA-TiO₂ nanostructured composite coating on Ti-6Al-4V substrate via electrophoretic deposition*, Surf. Coat. Technol., vol. 265 pp. 7.
- [11] Lahiri D., Ghosh S., Agarwal A., 2012, *Carbon nanotube reinforced hydroxyapatite composite for orthopedic application: a review*, Mater. Sci. Eng. C, vol. 32 pp. 1727.
- [12] Zhou-Cheng W., Yong-Jin N., Jin-Cong H., 2008, *Fabrication and Characterization of HAp/Al₂O₃ Composite Coating on Titanium Substrate*, Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE The 2nd International Conference on, 20081526-1530.
- [13] Shojaee P., Afshar A., 2015, *Effects of zirconia content on characteristics and corrosion behavior of hydroxyapatite/ZrO₂ biocomposite coatings codeposited by electrodeposition*, Surf. Coat. Technol., vol. 262 pp. 166.
- [14] Mahmoodi S., Sorkhi L., Farrokhi-Rad M., Shahrabi T., 2013, *Electrophoretic deposition of hydroxyapatite-chitosan nanocomposite coatings in different alcohols*, Surf. Coat. Technol., vol. 216 pp. 106.
- [15] Lin C., Han H., Zhang F., Li A., 2008, *Electrophoretic deposition of HA/MWNTs composite coating for biomaterial applications*, J. Mater. Sci. Mater. Med. vol. 19 pp. 2569.
- [16] Parente P., Sanchez-Herencia A.J., Mesa-Galan M.J., Ferrari B., 2013, *Functionalizing Ti-surfaces through the EPD of hydroxyapatite/NanoY₂O₃*, J. Phys. Chem., vol. 117 pp. 1600.
- [17] Göncü Y., Geçgin M., Bakan F., Ay N., 2017, *Electrophoretic deposition of hydroxyapatite-hexagonal boron nitride composite coatings on Ti substrate*, Materials Science and Engineering: C, vol.79 pp. 273.
- [18] Yeo I., Kim H.Y., Lim K.S., Han J.S., 2012, *Implant surface factors and bacterial adhesion: a review of the literature*. Int J Artif Organs., vol. 35:10 pp. 762.
- [19] Quirynen M., Van Der Mei H.C., Bollen C.M., et al., 1993, *An in vivo study of the influence of the surface roughness of implants on the microbiology of supra- and subgingival plaque*. J Dent Res., vol. 72:9 pp. 1304.
- [20] Amoroso P.F., Adams R.J., Waters M.G., Williams D.W., 2006, *Titanium surface modification and its effect on the adherence of Porphyromonas gingivalis: an in vitro study*. Clin Oral Implants Res., vol. 17:6 pp. 633.
- [21] Badihi Hauslich L., Sela M.N., Steinberg D., Rosen G., Kohavi D., 2011, *The adhesion of oral bacteria to modified titanium surfaces: role of plasma proteins and electrostatic forces*. Clin Oral Implants Res., Dec 13.
- [22] Ribeiro M., Monteiro F.J., Ferraz M.P., 2012, *Infection of orthopedic implants with emphasis on bacterial adhesion process and techniques used in studying bacterial-material interactions*. Biomater. Oct 1; vol. 2(4): pp. 176.
- [23] Bailey P. J., Cousins G., Snow, G. A., White A. J., 1980, *Boron-Containing Antibacterial Agents: Effects on Growth and Morphology of Bacteria Under Various Culture Conditions*. Antimicrob Agents And Chemotherapy, Apr. pp. 549.
- [24] Sayin Z., Ucan U.S., Sakmanoglu A., 2016, *Antibacterial and Antibiofilm Effects of Boron on Different Bacteria*. Biol Trace Elem Res. vol. 173(1) pp. 241.

Determination of the effect of nano-implants coating with nano hBN - Ha for biofilm prevent on surface characteristics

Extended abstract

It is widely used in many metal alloy implant applications. Bacteria that colonize these metal alloy surfaces can cause infection depending on the implant. In this study, the surface characteristic of biofilm and associated infection was determined by coating with hydroxyapatite and nano hexagonal boronitride on the implant surface. Roughness change, hardness change and SEM analysis on the surface after coating were performed. The relevance of the bio-surface obtained to the Staphylococcus aureus bacteria continues to be investigated.

Ti alloy surface has been applied with EPM method in different rates hBN and HA coating. Hardnesses were measured after coating. Surface characteristics were investigated by measurements with SEM. In addition, surface roughness measurements of coating surfaces were made.

Considering all these features, it is thought that in this study, hydroxyapatite and nano hexagonal boron nitride coated titanium metals may be effective against bacteria that form biofilm and cause implant-borne infections. However, other research is needed to confirm this and to determine other properties of metals considered as implants.

Keywords: biofilm, coating, implant, Ti alloy

Otomobil Radyatöründe Su Bazlı Grafen Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verimliliğe Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of the Effect on Thermal Efficiency by Means of Water-Based Graphene Nanofluid Usage in an Automobile Radiator

Tarkan Koca^{1*}

¹ İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, tarkan.koca@inonu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Mayıs 2020
Düzeltilme: 1 Temmuz 2020
Kabul: 9 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:
Grafen, Nanoakışkan, ısı transferini geliştirme, araç radyatörü

ÖZET

Bu çalışmada, bir Renault Clio marka otomobil radyatöründe soğutma akışkanı olarak grafen su bazlı nanoakışkan kullanılmış ve motor soğutma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel ısı transfer hızındaki artış ve basınç düşüşündeki artış değerleri irdelenmiştir. Deney düzeneği motor soğutma sistemine benzer şekilde tasarlanmıştır. Dört tip çalışma sıvısı kullanılmıştır. Bunlar saf su ve (0.01-0.02-0.03) grafen nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkanlardır. Deneyde hacimsel debi 4 ile 16 l/dk arasında 6 farklı debide gerçekleştirilmiştir. Otomobil radyatörüne giriş sıcaklığı 70°C olarak sabit tutulmuştur. Deneyler laminar akışta gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı 224 ile 1482 arasındadır. Yapılan deney sonucunda %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanmanın ısı transfer hızında %47 artış sağladığı görülmüştür. Toplam ısı transfer katsayısında % 52 ve Nusselt sayısında % 34 maksimum bir artış elde edilmiştir. Basınç düşüşündeki artış %49 olarak tespit edilmiştir. Nanopartiküllerin konsantrasyonunu artırarak ısı performanslarının arttığı gözlemlenmiş ancak nanopartiküllerin konsantrasyonunun %0.02'nin üzerine çıkartıldığında motor soğutma performansının düşmeye başladığı izlenmiştir. Çalışma sonucunda en iyi ısı transfer değerlerine %0.02 grafen bazlı su konsantrasyonu kullanıldığında ulaşılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.736458

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 May 2020
Revised: 1 July 2020
Accepted: 9 July 2020

Keywords:
Graphene, nanofluid, heat transfer enhancement, vehicle radiator.

ABSTRACT

In this study, engine cooling performance of a Renault Clio automobile radiator (heat exchanger) by utilizing graphene water based nanofluids was studied. In the experiments the heat transfer increase were evaluated. In addition, the increase in pressure drop was investigated. Experiment set was designed similar to the engine cooling system. Four types of fluid were employed. These are water and nanofluids with (0.01-0.02-0.03) graphene nanoparticle concentration. In the experiment, the flow rate was adjusted between 4 and 16 l/min. The coolant inlet temperature to the vehicle radiator is 70 °C. Experiments were carried at the laminar flow. The Reynolds number is between 224 and 1482. Experiments were carried at the laminar flow. The best results were obtained by utilization nanofluid with 0.02% volumetric concentration of graphene. The enhancement in heat transfer rate was obtained 47%. A maximum enhancement in overall heat transfer coefficient was obtained up to 52%. The maximum increase in the nusselt number was 34%. The pressure drop increased by 49%. As a result, the high thermal efficiency was obtained by using nanofluid. Thermal efficiency was the maximum in the fluid experiment with a volumetric concentration of graphene of 0.02%.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Tarkan KOCA
✉ tarkan.koca@inonu.edu.tr

Giriş

Günümüzde ısı transferini iyileştirmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Isı transferini artırmak için genişletilmiş yüzeyler, doğal akış ve cebri akış gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu yöntemlere ek olarak nanoakışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak Maxwell, 1881 yılında akışkanlara katı parçacıklar ekleyerek ısı transferini artırmaya çalışmıştır [1]. Bu katı parçacıklar 10 ile 100 arasında nanometre boyutuna sahiptir ve nanoakışkanlar bu nanoparçacıklar içerirler [2]. Isıl verimi yükseltmek ve kullanılan akışkanın ısı transferi performansını artırmak amacıyla akışkanlara nanoparçacıklar eklenmektedir. Nanoakışkanlar daha önce kullanılan akışkanlara oranla oldukça yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahiptirler [3]. Nanoakışkanları mühendislik uygulamalarında kullanabilmek için termofiziksel özelliklerin yanı sıra ısı transfer özelliklerinin de araştırılması gerekmektedir [4].

Soğutma sistemlerinde de ısı transferi oldukça önemlidir. Isı transferinin artırılması soğutma sistemlerinin de verimini artıracaktır. Soğutma performansının artırılması da endüstride ihtiyaç duyulan bir eksikliği gidermiş olacaktır. Otomotiv motorlarında soğutma sistemleri oldukça önemlidir. Soğutma sisteminde kullanılan sıvının ısıl performansının yüksekliği araç motorunun verimini artıracaktır. Bir ısı eşanjörü tipi olan radyatörler araçlarda soğutma sisteminin önemli parçalarından biridir. Radyatörün görevi, motordan ısınmış olarak gelen sıvıyı soğutarak, bu sıvı sayesinde motorun soğutulmasını sağlamaktır. Motordan ısınmış olarak gelen su radyatörde soğutulmuş olarak tekrar motora gönderilmektedir. Radyatöre gelen sıvının soğutulması fanlar yardımıyla hava üflenerek gerçekleşmektedir. Radyatörler kanatçıklı yapıda olduklarından ısı transfer yüzeyleri oldukça fazladır. İçten yanmalı motorlarda önemli prensiplerden biri motor sıcaklığının belirli değerler aralığında tutulmasıdır. Araç motorunun fazla ısınması malzemelerin mukavemet ve termal özelliklerini bozmakta ve yakıt tüketimini de artırmaktadır [5]. Soğutma sisteminin en önemli özelliklerinden biri motor çalışma sıcaklığını

belirli aralıklarda tutmasıdır. Motorlarda soğutma sıvısı olarak farklı tip akışkanlar kullanılarak ısı transfer miktarı ve ısı transfer hızı artırılmaya çalışılmıştır [6]. Bu nedenle otomobil radyatöründe nanoakışkan kullanılarak, mekanik kayıpların azaltılması ve motorun ısıl verimliliğini artırılması amaçlanmıştır [7,8]. Leong vd. [9] bir otomobil radyatöründe Bakır (Cu) etilen glikol nanoakışkan kullanmış ve pompa gücünün %12.13'e kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Peyghambarzadeh vd. [10] su bazlı alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanarak otomobil radyatör soğutma performansını artırmış olup termal verimliliğin % 45 arttığını hesaplamışlardır. Peyghambarzadeh vd. [11] bir araç radyatörü aracılığıyla su bazlı bakır oksit (CuO) ve demir oksit (Fe_2O_3) nanoakışkan kullanarak ısı transferini deneysel olarak incelemiş ve toplam ısı transfer katsayısında %9 artış tespit etmişlerdir. Naraki vd. [12] bir araç radyatörüne su bazlı bakır oksit (CuO) nanoakışkan koyarak deneysel olarak incelemiş ve araç radyatörü için toplam ısı transfer katsayısının %8'e kadar arttığı sonucuna varmışlardır. Hussein ve vd. [13] bir araç radyatöründe su bazlı silikon dioksit (SiO_2) nanoakışkan kullanarak ısı transfer oranının %50 arttığını belirlemişlerdir. Nieh vd. [14] bir araç radyatöründe alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) nanoakışkan kullanarak ısıl performansı artırmışlardır. Baby ve Ramaprabhu [15] %0.05 konsantrasyon grafen-su nanoakışkanın ile yaptıkları deneyde ısıl transferinde 25 °C'de %16 ve 50 °C sıcaklıkta ise %75 artış elde etmişlerdir. Chavan ve Pise [16] bir otomobil radyatörüne su bazlı alüminyum oksit (Al_2O_3) uygulayarak ısı transfer verimliliğini %45'e çıkarmışlardır. Heris vd. [17] bir araç radyatöründe su bazlı bakır oksit (CuO) nanoakışkanı kullanmış ve radyatörün ısıl verimliliğini %55'e çıkartmışlardır. Akhavan-Zanjani vd. [18] %0.02'lik konsantrasyonlu grafen-su nanoakışkanı kullandıkları deneyde ısıl iletkenlik katsayısında %10.3 ve ısı taşınım katsayısında %14.2 artış tespit etmişlerdir. Kılınç vd. [19] araç radyatörüne ait soğutma performansını saf su, grafen oksit (GO)-saf su ve grafen nano ribon (GNR)-saf su nanoakışkanları kullanarak incelemişler ve U

değerlerindeki en yüksek ortalama artış oranlarının %0.01 GO-saf su, %0.02 GO-saf su ve %0.01 GNR-saf su nanoakışkanları için sırasıyla %6.9, %32 ve %18.9 olduğu görülmüştür. Tüm sıcaklıklar için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış, saf suyla kıyasla %0.01 GO için %5.41, %0.02 GO için %26.08 ve %0.01 GNR için %15.62 olarak hesaplanmıştır. Kılınç vd. [20] taşıt radyatörünün soğutma performansını, saf su, grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nano sıvıları kullanarak deneysel olarak araştırmışlar ve toplam ısı transfer katsayısı tüm sıcaklıklar için, hacimce % 0.01 nanoakışkan için % 5.41 ve hacimce % 0.02 nanoakışkan için % 26.08 geliştirmişlerdir. Kılınç vd. [21] grafen nanoribbonun soğutma sıvısı olarak kullanıldığı bir otomobil radyatöründe ısı transfer performansını deneysel olarak incelemişler ve ısı transfer katsayılarında iyileşmeler kaydetmişlerdir. Kılınç vd. [22] araç radyatöründeki ısı transferi performans artışını saf su, su tabanlı grafen oksit ve su tabanlı grafen nano ribon nanoakışkanları kullanılarak deneysel olarak incelemişler ve ısı transferi performansında gelişmeler sağlamışlardır.

Bu çalışmada araç soğutma sisteminde soğutma sıvısı olarak su bazlı grafen kullanılmıştır. Grafen, bir atom kalınlığında, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan iki boyutlu yapıdadır [23]. Grafen, mekanik, ısı ve elektriksel özellikler bakımından üstündür [24]. Grafen parçacıkları içeren nanoakışkanlar, araştırmalarda önem kazanmaktadır. Grafitin ısı iletim katsayısı çok yüksektir. Grafit konsantrasyonunun artırıldığı nanoakışkanlarda çökelme olmaktadır. Grafen oksit'in ısı iletkenliği grafitten daha düşüktür. Fakat grafen oksit kullanıldığı nanoakışkanda kararlılık artmakta ve çökelme olmamaktadır [25]. Literatürde bulunan çalışmaların hepsinde araç radyatöründe nanoakışkan kullanımının ısı verimliliği artırdığı görülmektedir.

Bu çalışmada 1200 cc bir motora ait soğutma sistemi esas alınmış olup deney düzeneği araç soğutma sistemine benzer olarak tasarlanmıştır. Saf su ve üç tip hacimsel grafen nanoparçacık konsantrasyonu soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. Isı transfer hızı, toplam ısı

transfer katsayısı ve Nusselt sayısı gibi ısı performans parametreleri ile basınç düşümü deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde hacimsel debi 4-16 lt/dk aralığında olup araç radyatörüne akışkan giriş sıcaklığı 70 °C olarak sabit tutulmuştur. Reynolds sayısı 224 ile 1482 aralığında olup akış laminer olarak gerçekleşmiştir.

Deneysel Çalışma

Bu çalışmada dört farklı tip soğutucu akışkan kullanılmıştır. Öncelikle saf su kullanılmış olup diğerleri ise %0.01, %0.02, %0.03 konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanlardır. Konsantrasyon değerleri hacimsel olarak hesaplanmış ve karışımlar bu şekilde hazırlanmıştır. Nanoakışkanlar Ortadoğu Teknik Üniversitesi Teknoparkında hazırlanmış ve tedarik edilmiştir. Grafen nanopartiküllerinin termo-fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Grafen nano partiküllerinin termo-fiziksel özellikleri [26]

Fiziksel Özellikler	Değerler
Parametre Değer Saflığı	% 99.9
Parçacık yaklaşık boyutu (nm)	3
Spesifik yüzey alanı (m ² /g)	2630
Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	0.3
Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	2
Isı iletkenliği (W/mK)	5000
Özgül ısı (J/kgK)	502.7

Deneyde kullanılan 70 °C deki saf suyun yoğunluğu 0.9777 g/cm³, c_p değeri 4189 J/kgK, ısı iletkenlik katsayısı 0.6631 W/mK'dir. Hacimce %0.02 nanoakışkanın ise yoğunluğu 0.997 g/cm³, c_p değeri 4189 J/kgK, ısı iletkenlik katsayısı 0.7732 W/mK'dir.

Deney düzeneği

Bu deneysel çalışmada Renault Symbol 1200cc motor radyatörü kullanılmıştır. Radyatör içindeki akışkanı soğutmak için çalışma hızı 900-1000 dev/dak olan DC motorlu bir fan kullanılmıştır. Radyatör ölçüleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Radyatör Ölçüler

Büyüklikler	Değerler
Uzunluk×En×Yükseklik (mm)	350×23×378
Ana boru çapı (mm)	32
İç tüp boru çapı (mm)	2.3
Boru uzunluğu (mm)	300
Boru kesit alanı (mm ²)	66.474
Borunun hidrolik çapı (mm)	4.333
Boru çevresi (mm)	61.095
Tüpün yüzey alanı (mm ²)	18232.97

Deney düzeneğinin şematik akış diyagramı şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Deney seti ve akış diyagramı



Deney setinde Renault clio symbol 1200 cc motor radyatörü, santrifüj pompa (tek kademeli), depolama tankı, gövde termostatlı elektrikli su ısıtıcısı, elektrikli soğutma fanı (DC), güç kaynağı (AC), debi ölçer, bir manometre (U tüp), dijital gösterge sıcaklık kontrolörüne sahip 9 adet K ısıl çift ve kontrol ünitesi kullanılmıştır. Araç üzerindeki ile aynı tip orijinal mais marka pompa kullanılmıştır. Giriş akış hattı depolama tankına, çıkış akış hattı bypass hattına ve otomobil radyatörüne bağlıdır. Depodaki suyu ısıtmak için 2000 W güç girişine sahip bir elektrikli su ısıtıcısı kullanılmıştır. Pompa giriş çıkışına by-pass olacak şekilde iki adet sürgülü valf kullanılmıştır. By-pass sisteminin amacı debiyi ayarlayabilmektir. Deney setinde %4 hassasiyete sahip 2-18 lt/dk aralığında ölçüm yapabilen bir debimetre kullanılmıştır.

Basınç farkını ölçmek için U tipi manometre kullanılmıştır. Manometrenin ölçüm aralığı 0-200 mmHg'dir. Manometrenin girişi araç radyatörüne, çıkışı ısıtma yapılan depoya bağlanmıştır. Deney setinden alınan bilgilerin gösterimini ve bilgisayara aktarımını sağlayan tarayıcı 16 girişe sahiptir. Isıl çiftler ile sıcaklık

ölçümü yapılmıştır. 0.2 °C hassasiyete sahip K ısıl çiftler kullanılmıştır. Isıl çiftlerin biri radyatör girişine, diğeri radyatör çıkışına yerleştirilmiştir. Üçüncü ısıl çift soğutma sıvısının sıcaklığını ölçmek için ısıtma deposuna, diğer altı ısıl çift ise otomobil radyatörünün dış yan yüzeyinin farklı noktalarına yerleştirilmiştir. Bu altı ısıl çiftin amacı radyatörün ortalama yüzey sıcaklığını ölçmektir. Deney seti bir AC kaynağı ile beslenmektedir. Sistemi kontrol etmek için arduino kart üzerine program yazılmıştır. Kontrol sistemi, güç kaynağını, santrifüj pompayı, radyatör fanını ve elektrikli ısıtıcıyı kontrol etmektedir. Bu kontrol sistemi radyatöre akışkanın istenilen debilerde ve 70 °C sabit sıcaklıkta girmesini sağlamaktadır.

Deneye başlamadan sıvı tankı çalışma sıvısı ile doldurulmuş ve elektrikli ısıtıcı ile ısıtılmıştır. Yani bir nevi içten yanmalı motorun ısıtma görevini yapmaktadır. Termostat ile sıcaklık sabit tutulmaya çalışılmıştır. Pompa devreye sokularak akış başlamıştır, vanalar yardımıyla sabit debiler ayarlanmıştır. Radyatöre ulaşan sıcak akışkan elektrikli fan yardımıyla soğutulmuştur. Bu arada ısıl çiftler ile belirlenen noktalardaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Manometre yardımıyla basınç düşüş değeri okunmuştur. Deney sonucunda elde edilen verilere göre ısı transfer miktarı, toplam ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve araç radyatörü boyunca deney sıvısının basınç düşüşü hesaplanmıştır. Tüm deneyler, saf su ve %0.01, %0.02, %0.03 su bazlı grafen konsantrasyonunda yapılmış ve bu deneyler 4 ,6, 8, 10, 12, 16 lt/dk olmak üzere 6 farklı debide gerçekleştirilmiştir. Radyatöre giriş sıcaklığı 70 °C olarak ayarlanmıştır. Saf su ve %0.01, %0.02, 0.03 hacimsel grafen konsantrasyonda yapılan deneylerde ortalama 4 dakikalık sürede kararlı durum oluşup değerler okunmuştur. Deney setinde bulunan malzemelerin özellikleri tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deney setinde bulunan malzemeler

Kullanılan Cihazlar	Özellikleri
Araç Radyatörü	1200 cc motor radyatörü
Güç Kaynağı	220V
Akış Ölçer	Hassasiyet %4
Manometre	Civalı U manometre
Isıl Çiftler	Sıcaklık Aralığı: 0 ~ 800 °C, K-tipi, Hassasiyet 0.2 °C
Su Isıtıcı	2000W
Termostat	Gövde tipi Hassasiyet 1 °C
Pompa	Tek kademeli santrifüj pompa
Su Tankı	25 litre kapasiteli depo
Valfler	
Kontrol Paneli	

Yapılan Hesaplamalar

Bu çalışmada, aşağıdaki denklemler yardımıyla, farklı sıcaklık ve hacimsel konsantrasyonlara bağlı olarak nanoakışkanın yoğunluğu, özgül ısı, viskozitesi ve ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır [27-33].

$$\rho_{na} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_s \quad (1)$$

$$(\rho C_p)_{na} = \phi (\rho C_p)_p + (1 - \phi) \rho_s \quad (2)$$

$$\mu_{na} = (1 + 7.3\phi + 123 \phi^2) \mu_s \quad (3)$$

$$k_{na} = \frac{k_p + 2k_s + 2(k_p - k_s)\phi}{k_p + 2k_s - 2(k_p - k_s)\phi} k_{sc} \quad (4)$$

Denklemlerde nanoakışkanın ρ_{na} yoğunluğunu $C_{p_{na}}$ özgül ısını μ_{na} viskozitesini ve k_{na} , ısı iletkenliğini belirtir. ρ_p , C_{pp} ve k_p , nanoparçacıkların yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletkenlik katsayısıdır. ρ_s , C_{ps} , μ_s ve k_s suyun yoğunluğu, özgül ısı, viskozitesi ve ısı iletkenlik katsayısıdır.

Aşağıdaki denklem yardımıyla ısı transfer hızı bulunabilir. Burada Q , ısı transfer miktarı, C_p sıvının özgül ısı, T_g ve $T_{ç}$ otomobil radyatörünün sıvı giriş ve çıkış sıcaklığıdır.

$$Q = \dot{m} C_p (T_g - T_{ç}) \quad (5)$$

Aşağıdaki denklemler ile radyatöre sıvı giriş ve çıkış sıcaklığının ortalaması ile araç radyatörünün ortalama yüzey sıcaklığı bulunabilir.

$$T_{ort} = (T_g - T_{ç})/2 \quad (6)$$

$$T_y = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_6}{6} \quad (7)$$

Burada T_g sıvı giriş sıcaklığı ve $T_{ç}$ da sıvı çıkış sıcaklığıdır. T_y araç radyatörünün ortalama yüzey sıcaklığıdır. T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 ve T_6 , radyatörün farklı noktadaki yüzey sıcaklıklarıdır.

Isı transfer katsayısını ve toplam ısı transfer katsayısı bulmak için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$H = \frac{Q}{n.A_s.(T_g - T_{ç})} \quad (8)$$

$$U = \frac{Q}{n.A_s.OrtLogT} \quad (9)$$

Burada H ısı transfer katsayısı, Q ısı transfer hızı, n radyatör borusu sayısı, A_s yüzey alanı, U toplam ısı transfer katsayısı, A_s Radyatör yüzey alanı ve $OrtlogT$ logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır.

$$OrtlogT = \frac{T_g - T_{ç}}{\ln T_g / T_{ç}} \quad (10)$$

Basınç düşüş değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\Delta P = (\rho_{Hg} - \rho) g \Delta h \quad (11)$$

ΔP basınç düşüş değerini, ρ_{Hg} civa yoğunluğunu; g yerçekimi ivmesini; ρ sıvının yoğunluğunu, Δh ise manometredeki civa yüksekliğini gösterir.

Reynolds sayısı, Nusselt sayısı ve Prandtl sayısı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$Re = \rho v d_H / \mu \quad (12)$$

$$Nu = h d / k \quad (13)$$

$$Pr = \mu C_p / k \quad (14)$$

Re , Reynolds sayısını, ρ sıvı yoğunluğunu; v sıvı akış hızını; d_H radyatör borusunun hidrolik çapını μ sıvı viskozitesini, Nu , Nusselt sayısını, h ısı transfer katsayısını, d_H radyatör borusunun hidrolik çapını ve k ısı iletkenlik katsayısını, Pr Prandtl sayısını, C_p özgül ısıyı belirtir.

Radyatör borularının kesit alanı, yüzey alanı, hidrolik çapı ve çevresi aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$Ac = \frac{\pi d^2}{4} + (D - d)d \quad (15)$$

$$As = \zeta . l \quad (16)$$

$$d_H = 4Ac / \zeta \quad (17)$$

$$\zeta = \pi d + 2(D - d) \quad (18)$$

Ac radyatör borusu kesit alanını, D radyatör borusunun ana çapını, d radyatör tüp çapını, As

radyatör borusu yüzey alanını, \checkmark radyatör borusunun çevresini, L radyatör borusunun uzunluğunu, d_H radyatör borusunun hidrolik çapını gösterir.

Belirsizlik Analizi

Belirsizlikler akışkan debisi, radyatör boyutları ve radyatör giriş ve çıkış sıvısı sıcaklığı, radyatör yüzey sıcaklıkları ve diğer sıcaklıkların ölçüm hataları nedeniyle oluşmaktadır. Toplam ısı transfer katsayısındaki hata radyatör yüzey sıcaklıkları dışındaki tüm ölçüm hatalarından kaynaklanırken, ısı transfer oranındaki belirsizlik, akışkan debisi ve radyatör giriş ve çıkış sıvı sıcaklığı ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır. Basınç düşmesindeki belirsizlik manometre sıvısı (cıva) yüksekliğinin ölçüm hatasından ortaya çıkmaktadır. Reynolds sayısındaki belirsizlik, akışkanın hacimsel debisinin ve radyatör borularının çapının ölçüm hatalarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Hidrolik çaptaki belirsizlik ise radyatör boru çaplarının ölçüm hataları nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu deneysel çalışmada, istenen tüm parametrelerdeki belirsizlikler Holman [28] tarafından önerilen teknik kullanılarak hesaplanmış ve tüm bu belirsizlikler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Parametrelerin belirsizlik analizi

Parametreler	Ölçüm Aralıkları	Belirsizlikler %
Nu	4.92-9.89	5.04
U	76-193	3.78
Q	2628-6948	4.3
Re	224-1643	4.08
D_H	4.333	0.39

Sonuçlar ve Tartışmalar

Deney düzeneğinin güvenilirliği ve doğruluğu, ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı, basınç düşümü gibi istenen nanoakışkan parametreleri hesaplanmadan önce incelenmiştir.

Nusselt sayısının deneysel sonuçları, laminar akış için Shah-London [29] korelasyonlarından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

$$\left(RePr \frac{d_H}{L} \right) \geq 33.33 \text{ için}$$

$$N_u = \left(1.953 RePr \frac{d_H}{L} \right)^{1/3} \quad (19)$$

$$\left(RePr \frac{d_H}{L} \right) \leq 33.33 \text{ için}$$

$$N_u = 4.364 + 0.0722 \left(1.953 RePr \frac{d_H}{L} \right) \quad (20)$$

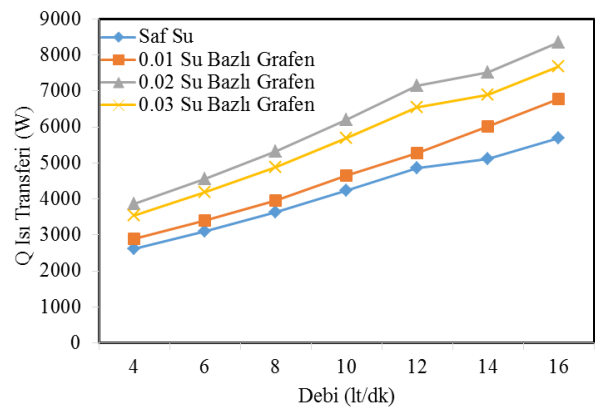
Saf su için Nusselt sayısının deneysel sonuçları, %3.78'lik ortalama bir hataya sahip Shah-London denklemleri ile uyumludur.

Su Bazlı Grafen Nanoakışkanların Isı Transfer Performansı

Saf su ile yapılan deney sonuçları referans değerleri kabul edilmiş ve nanoakışkanlar ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar bu değerlerle kıyaslanmıştır. Isı transferi miktarı, toplam ısı transferi katsayısı, Nusselt sayısı ve basınç düşüşündeki miktar tüm deneyler için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmalarla uyumludur. Örneğin Kılınç ve arkadaşlarının [19] yaptıkları araç radyatörü soğutma çalışmasında da GO-saf su ile yapılan deneylerde en iyi termal sonuçlara 0.02 konsantrasyonlu nanoakışkanda ulaşılmıştır.

Isı transferi

%0.01, %0.02 ve %0.03 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarına sahip saf su ve su bazlı grafen nanoakışkan için hacimsel debilerine bağlı ısı transfer miktarları Şekil 2'de gösterilmektedir. Nanoakışkan kullanılan deneylerde elde edilen ısı transfer oranları saf suya oranla daha yüksektir. Şekil 2'de, saf su ve su bazlı grafen nanoakışkanın hacimsel debisini artırarak ısı transfer oranının arttığı açıkça görülmektedir.



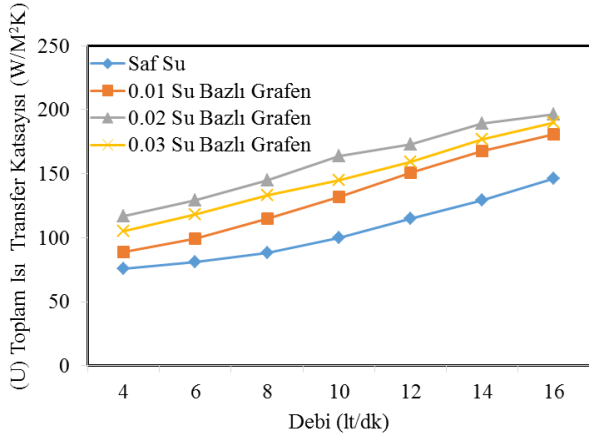
Şekil 1. Deney akışkanları için ısı transferi ve hacimsel debi

Saf su ile yapılan deneyde, ısı transferi 4 lt/dk'lık debide 2628 W ve 16 lt/dk'lık debide 5863 W'dir. Hacimsel konsantrasyonları %0.01, %0.02 ve %0.03 sahip nanoakışkanlar

kullanıldığında farklı hacimsel debilerde ısı transfer miktarında artışlar olmaktadır. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan deneyinde ısı transfer oranları 4 lt/dk debide %10.09 ile 16 lt/dk debide %19.21 artmıştır. Şekil 2'de, nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonu arttıkça ısı transfer hızının arttığı görülmektedir. Ancak ısı transferindeki bu artış nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonu %0.02 oluncaya kadar devam etmektedir. Konsantrasyon miktarı arttıkça ısı transferinde artış olmamaktadır. Isı transferinin en yüksek olduğu akışkan %0.02 hacimsel konsantrasyonlu nanoakışkandır. Nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyon seviyesi belirli değerlerin üzerine çıktığında viskozitedeki artışa bağlı olarak radyatör borularında sınır tabaka kalınlığını artırmakta olup ve ısı transfer miktarı artmamaktadır [26,30].

Toplam ısı transfer katsayısı

Su ve %0.01, %0.02 ve %0.03 nanopartikül hacimlerine sahip su bazlı grafen nanoakışkan için hacimsel debilerine bağlı toplam ısı transfer katsayıları Şekil 3'de gösterilmektedir. Nanoakışkanların hacimsel debisi arttıkça ısı transferi katsayısı artmaktadır.



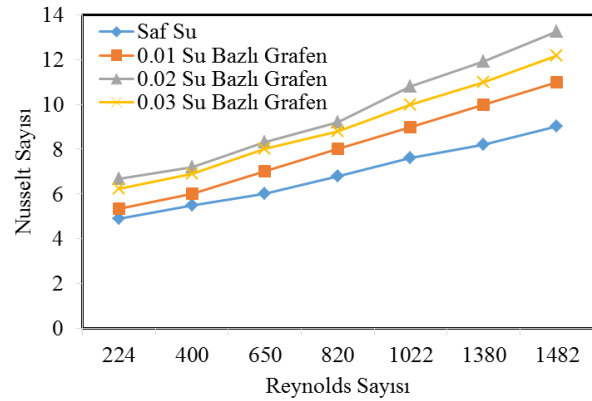
Şekil 2. Deney akışkanları için debiye bağlı toplam ısı transfer katsayısı

Nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonu %0.02'den %0.03'e yükseltildiğinde, toplam ısı transfer katsayılarının düştüğü görülmektedir. Saf su kullanıldığında, toplam ısı transfer katsayısı 4 lt/dk'lık debide 76 W/m²K ve 16 lt/dk'da ise 146 W/m²K olmuştur. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanın toplam ısı transfer katsayısı, saf suya kıyasla 4lt/dk'lık debide %17.06 ve 16 lt/dk'lık debide %23.90 artmıştır. 4 lt/dk'lık hacimsel debide

%0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında toplam ısı transfer katsayısında %53.79 artış görülmektedir. 16 lt/dk'lık hacimsel debide %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında ise toplam ısı transfer katsayısında %38.41 artış olmuştur. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanın, 16 lt/dk debide toplam ısı transfer katsayısında artış %38.43 olmuştur. 16 lt/dk debide %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında toplam ısı transfer katsayısındaki artış %29.88 olmuştur.

Nusselt sayısı

Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki değişim, %0.01, %0.02 ve %0.03 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarına sahip su ve su bazlı grafen nanoakışkan için Şekil 4'de gösterilmektedir. Reynolds sayısına bağlı olarak Nusselt sayısı artmıştır. Bununla birlikte, nanoakışkanın Nusselt sayı değerleri suya göre daha yüksektir. Reynolds sayısı radyatör boru geometrisine, akış hızına, akışkanının yoğunluğuna ve viskozitesine bağlıdır. % 0.02 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan kullanılan deneyde Nusselt sayısını en büyük değerlere ulaştırmaktadır.



Şekil 3. Deney sıvıları için Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı

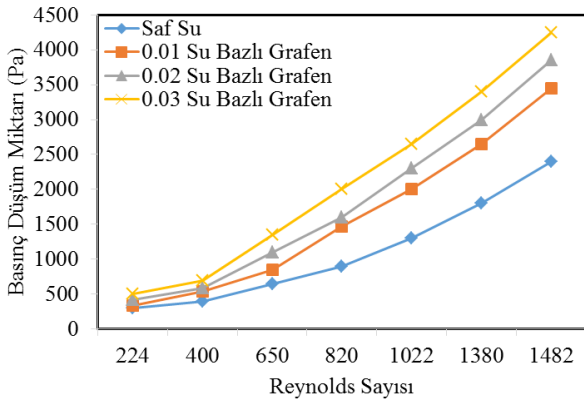
Deneyde saf su akışkan olarak kullanıldığında, Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısı 4.92 değerini almaktadır. Reynolds sayısı 1482 olduğunda ise Nusselt sayısı 9.02 olmaktadır. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip su bazlı nanoakışkanın kullanıldığı deneyde Nusselt sayısı 4lt/dk debide %8.62, 16 lt/dk debide ise %14.69 artmaktadır. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen

nanoakışkan kullanıldığında, Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısında %36.03 artış olmuştur. %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkan kullanıldığında ise Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısı %26.42 olmuştur.

Basınç düşüş değerleri

Reynolds sayısı değerlerine göre basınç düşüşündeki değerler şekil 5'de verilmiş olup, su ve su bazlı grafen nanoakışkan için Reynolds sayısı arttıkça basınç düşüşünün arttığı görülmektedir. Nanoakışkan kullanılan deneylerde basınç düşüş değeri suya göre oldukça yüksektir. Su kullanılan deneylerde basınç düşme değerleri Reynolds sayısı 224 iken 196.26 Pa ve Reynold sayısı 1482 iken 2474.26 Pa'dır. %0.01 hacimsel su bazlı nanoakışkan kullanılan deneyde basınç düşüş değeri 4 lt/dk debide %19.89 artmış ve 16 lt/dk'lık debide ise %57.69 artmıştır. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanda Reynolds sayısı 224 iken basınç düşüşü %78.52 artmıştır. %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanda, Reynolds sayısı 224 iken basınç düşüşü %106.85 artış göstermiştir.

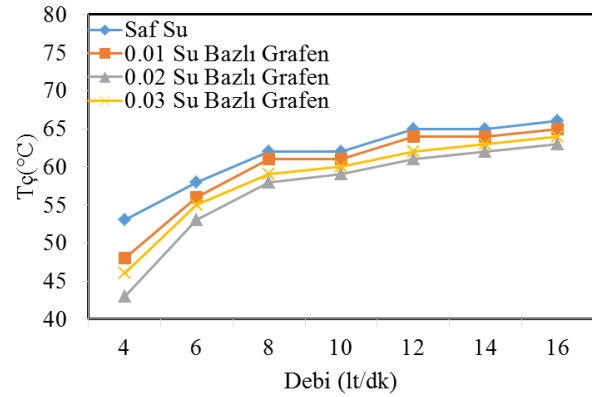
%0.01, %0.02, %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanın basınç düşüşündeki ortalama artışları %36.27, %54.70 ve %73.00 değerlerine ulaşmaktadır. Basınç düşmesindeki artışlar su bazlı grafen nanoakışkanın fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır [9,18]. Nanoakışkanların yoğunlukları ve viskoziteleri yüksek olduğundan basınç düşüşündeki değerler saf suya göre daha yüksektir [31].



Şekil 4. Deney sıvıları için Reynolds sayısı ile basınç düşüşü

Radyatör Çıkış Sıcaklığı

Soğutma sistemlerinde amaç, motorda ısınmış akışkanın sıcaklığını radyatörde belirli sıcaklıklara kadar soğutarak içten yanmalı motorun ideal şartlarda çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle radyatör giriş ve çıkış sıcaklık değerleri oldukça önemlidir. Radyatör çıkış sıcaklıkları ile hacimsel debi ilişkisi, Şekil 6'da görülmektedir. Su bazlı grafen nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde radyatörün çıkış sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Radyatörün ısı verimliliği, nanoakışkanlar kullanıldığında yükselmiştir. Ancak debideki artış ısı transfer hızını düşürmekte ve radyatörün çıkış sıcaklığını artırmaktadır [32].



Şekil 5. Debiye bağlı olarak deney sıvıları için radyatör çıkış sıcaklığı

Sonuçlar

Bu çalışmada önemli sonuçlar elde edilmiştir. Araç soğutma sistemlerinde su bazlı grafen nanoakışkanın kullanılması sonucunda ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı gibi ısı performans parametrelerinde önemli neticeler alınmıştır. %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılarak yapılan deneyde ısı transfer hızındaki maksimum artış, %47 olarak elde edilmiştir. Toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısındaki maksimum artış, %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılarak sırasıyla %52 ve %34 olarak elde edilmiştir. %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılan deneyde basınç düşüşündeki artış %49 olmuştur. Isıl performans parametrelerindeki en yüksek değerler nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyon seviyesi %0.02 iken sağlanmıştır.

Hacimsel konsantrasyonu %0.02'den %0.03'e yükseltildiğinde ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısında düşüşler görülmektedir. Ayrıca basınç düşüş miktarı da azalmaktadır. Su yerine su bazlı grafen nanoakışkanın kullanıldığında otomobil radyatörünün ısı verimliliği oldukça yükselmiştir. Özellikle %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanıldığında en yüksek ısı verimlilik sağlanmıştır.

Sonuç olarak araç soğutma sisteminde su bazlı grafen nanoakışkan kullanılması ısı performanslar açısından oldukça iyi sonuçlar doğurmuştur. Dolayısıyla su bazlı grafen nanoakışkanın otomobil soğutma sistemlerinde kullanılması ısı verimliliği artırmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Maxwell, J.C. (1904). A Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford University Press, Cambridge.
- [2] Ali, H.M., Azhar, M.D., Saleem, M., Saeed, Q.S., Saieed, A., (2015), Heat transfer enhancement of car radiator using aqua based magnesium oxide nanofluids, Thermal Science 19(6), 2039–2048.
- [3] Ali, H.M., Ali, H., Liaquat, H., Maqsood, H.T.B., Nadir, M.A., (2015), Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO–water nanofluids, Energy, 84, 317–324.
- [4] Karabulut, K., Buyruk, E., Kilinc, F., (2020). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 42 (230), 1-16.
- [5] Bhogare, A.R.A., Kothawale, B., Bodkhe, P.P., Gawali, A., (2014). Performance investigation of Automobile Radiator operated with Nanofluids Based Coolant, International Journal of Thermal Technologies, 4(2), 2277–4114.
- [6] Qasim, M., Sajid, Kamran, M., Ammar, M. Jamal, A.M., Javaid M.Y., (2020). Heat Transfer Enhancement of an Automobile Engine Radiator using ZnO Water Base Nanofluids, J. Therm. Sci. 11630 (20), 1263-9.
- [7] Ali, M., El-Leathy, A., Al-Sofyany Z., (2014). The effect of nanofluid concentration on the cooling system of vehicles radiator, Advances in Mechanical Engineering, 6, 962510.
- [8] Heris, S.Z., Pour, M.B., Mahian, O., Wongwises, S., (2014). A comparative experimental study on the natural convection heat transfer of different metal oxide nanopowders suspended in turbine oil inside an inclined cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer, 73, 231–238.
- [9] Leong, K., Saidur, R., Kazi, S., Mamun, A., (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator), Applied Thermal Engineering, 30, 2685–2692.
- [10] Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Jamnani, M.S., Hoseini, S., (2011). Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid, Applied Thermal Engineering, 31(10), 1833–1838.
- [11] Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Naraki, M., Vermahmoudi, Y., (2013). Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator, Applied Thermal Engineering, 52(1), 8–16.
- [12] Naraki, M., Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Vermahmoudi, Y., (2014). Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator, International Journal of Thermal Sciences, 66, 82–90.
- [13] Hussein, A.M., Bakar, R., Kadrigama, K., (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system, Case Studies in Thermal Engineering, 2, 50–61.
- [14] Nieh, H.M., Teng, T.P., Yu, C.C., (2014). Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nanofluid, International Journal of Thermal Sciences, 77, 252–261.
- [15] Baby, T.T., Ramapraphu, S., (2014). Enhanced Convective Heat Transfer Using Graphene Dispersed Nanofluids, Nanoscale Res. Lett., 6- 289.
- [16] Chavan, D., Pise, A.T., (2014). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid as a coolant, Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 6(2), 021010.
- [17] Heris, S.Z., Shokrgozar, M., Poorpharhang, S., Shanbedi, M., Noie, S., (2014). Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant, Journal of Dispersion Science and Technology, 35(5), 677–684.
- [18] Akhavan-Zanjani, H., Saffar-Avval, M., Mansourkiaei, M., Sharif, F., Ahadi, M., (2016). Experimental Investigation of Laminar Forced Convective Heat Transfer of Graphene-Water Nanofluid Inside a Circular Tube, Int. J. Thermal Sci., 100, 316-323.

- [19] Kilinc, F., Buyruk, E., Karabulut, K., (2019). Grafen Tabanlı Nanoakışkanların Araç Radyatörü Soğutma Performansı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Analizi, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 1046-1056.
- [20] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut, K., (2020). Experimental investigation of cooling performance with graphene based nano-fluids in a vehicle radiator, *Heat Mass Transfer* 56, 521–530.
- [21] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut K., (2017). An Experimental Study for Heat Transfer Enhancement of Graphene Nanoribbon Nanofluid in an Automobile Radiator, 8th International Advanced Technologies Symposium, 1439-1446.
- [22] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut K., (2019). Araç Radyatörünün Isı Transferi Performansının Su Tabanlı Nanoakışkanlar Kullanılarak Deneysel Olarak Araştırılması, *Tesisat Mühendisliği*, 170, 37-46.
- [23] Singh, V., Joung D., Zhai L., Das S., Khondaker S., Seal S., (2014). Graphene Based Materials: Past, Present and Future, *Progress in Materials Science*, 56, 1178-1271.
- [24] Novoselov, K., Geim, A. K., Morozov, S., Jiang, D., Grigorieva, M. K. I., Dubonos, S., Firsov, A., (2005). Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene, *Nature*, 438 (7065),197-200.
- [25] Yu, W., Xie, H., Chen, L., Li, Y.. (2010). Enhancement of Thermal Conductivity of Kerosene-Based Fe₃O₄ Nanofluids Prepared via Phase-Transfer Method, *Colloids and Surfaces A*, 355, (1-3), 109-113.
- [26] Li, Y., Fernández-Seara, J., Du, K., Pardiñas, Á.Á., Latas, L.L., Jiang, W., (2016). Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of ZnO/ethylene glycol-water nanofluids in transition flow, *Applied Thermal Engineering*, 93, 537–548.
- [27] Pak, B.C., Cho, Y.I., (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151–170.
- [28] Holman, J.P., Gajda, W.J., (2001). Experimental methods for engineers, McGraw-Hill, New York.
- [29] Shah, R.K., London, A.L., (1978). Laminar flow forced convection in ducts: a source book for compact heat exchanger analytical data, *Advances in heat transfer*, Supplement. New York: Academic Press, 109.
- [30] Zeinali, H.S., Razbani, M.A., Estellé, P., Mahian, O., (2015). Rheological behavior of zinc-oxide nanolubricants, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36(8), 1073–1079.
- [31] Taghizadeh, T.Z., Heris S.Z., Moradi M., Kahani M., (2016). The study on application of TiO₂/water nanofluid in plate heat exchanger of milk pasteurization industries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58,1318– 1326.
- [32] Bhimani, V., Rathod, P., Sorathiya, A., (2013). Experimental study of heat transfer enhancement using water based nanofluids as a new coolant for car radiators, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, 3(6), 295–302.
- [33] Maxwell J.C., (1873). A treatise on electricity and magnetism, vol 1. Clarendon Press, Oxford, 1873.



Wear Resistances of X6Cr17 Ferritic Stainless-Steel Surfaces Coated with Al₂O₃ Powders Using Thermal Spray Method

Hülya DURMUŞ, Mustafa TÜRKMEN, Uğur ÇALIGÜLÜ

¹ Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Dept. of Metallurgy and Materials Engineering, Manisa/Turkey. ORCID ID: 0000-0002-7270-562X

² Gebze Technical University, Institute of Transport Technology, Kocaeli / Turkey. ORCID ID: 0000-0002-9402-2459

³ Firat University, Faculty of Technology, Dept. of Metallurgy and Materials Engineering, Elazığ/Turkey. ORCID ID: 0000-0003-4862-7219

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 May 2020
Received in revised form 17 June 2020
Accepted 20 June 2020
Available online 30 September 2020

Keywords:

X6Cr17, Al₂O₃, TiO₂, Thermal spray coating, Wear resistance.

ABSTRACT

The aim of this study was to improve the surface properties of the X6Cr17 ferritic stainless steels by coating with the Al₂O₃-TiO₂ powders in the thickness of 0-100µm, 100-200µm and 200-300µm by using the plasma spray method, one of thermal spray methods. Wear resistance of the samples was investigated after the coating process. The tests were carried out by pin-on-disc method according to ASTM G133 standard. After examination of the results, it was observed highest abrasion resistance of A3 sample. It was concluded that the abrasion resistance in the high hardness sample does not mean that it will be good due to the high hardness.

Doi: 10.24012/dumf.741145

* Corresponding author
Hülya DURMUŞ
✉ hulya.durmus@cbu.edu.tr

Introduction

X6Cr17 steels comprise approximately one half of the SAE-AISI type 400 series of ferritic stainless steels. They are known by their excellent stress corrosion cracking resistance and good resistance to pitting and crevice corrosion in chlorine environments. Welding is known to reduce toughness, ductility and corrosion resistance because of the grain coarsening and carbide precipitations. The grain size gradually increases from the edge of heat-affected zone to the fusion boundary. Welding of 400 the series usually requires preheating and post-weld heat treatment to minimize stress that can lead to cracking [1].

Ceramic materials; due to their superior thermal, mechanical, chemical and electrical properties, they have recently been preferred in critical applications. The most common and easy to apply ceramic coating process; It is based on the principle of spraying powdered ceramic on the substrate surface by heating. Oxide ceramic coatings such as alumina (Al_2O_3), zirconia (ZrO_2) and chromium (Cr_2O_3) produced by thermal spraying methods are widely used in many industrial applications where high abrasion resistance is required. Alumina; often-used in combination with titania (TiO_2). As the amount of TiO_2 increases, the fracture toughness of the coating increases, but the hardness and wear resistance decrease. Therefore, a low amount of TiO_2 is preferred. Plasma sprayed alumina coatings; due to their high hardness and good electrical insulation, they are used in the automotive industry to isolate metal substrates. Electronic circuits are then manufactured on these coatings. Alumina coatings are also used in computer memory discs to provide electrical insulation and to form a wear-resistant surface [2].

Coatings are an engineering solution for improving the material surfaces against wear,

corrosion, degradation and other surface events. Since coatings are applied in many fields, there are many coating materials and coating methods. The main distinguishing properties between these coating methods are based on the thickness of the coating obtained in the process and the temperature differences forming on the coated material. These properties are the determining parameters for choosing the coating method by considering the properties of the coating material and the material to be coated. Thermal spray coatings are the most popular and most preferred method among these coating methods since they are versatile due to their wide coating thicknesses and substrate temperatures and have good mechanical properties [3-6].

Thermal spray is the general name of a group of processes in which metallic or non-metallic surface coating materials are molten or semi-molten by a heat source and applied to form a coating on a previously prepared surface. The surface coating material may be in powder, wire or rod form. The thermal spray gun produces the required heat with a flammable gas or electric arc. When heated, the coating materials become semi- molten, accelerated with the help of the gases used in the process and moved towards the surface of the base material. The particles flatten by hitting the surface, form thin plates and stick to the rough surface and to each other. When the particles sprayed hit to the surface of the base material, they cool, solidify and form a lamella structure, which forms the coating. The adhesion of each particle takes place with mechanical bonding or metallurgical bonding or diffusion in some cases. Increasing speed of the particles provides a better adhesion strength and higher density. In order to ensure a good bonding between the base material and the coating, it is extremely important to roughen the surface of the base material by sandblasting and to remove and clean the oil completely before coating [7].

Allowing to obtain high heat with plasma makes it possible to use ceramic and metal-based alloy powders with high melting point in coating applications. The ceramics are an important coating material with the advantage of their properties such as high wear and hardness properties, the availability and cheapness of their raw material, corrosion, oxidation and low thermal conductivity and high number of thermal cycles. However, due to their high melting points, their applicability/melting capability in coating applications are only possible at very high temperatures. Plasma spray coating technology depending on the use of plasma energy allows the processability (coatability) of materials with high melting temperature as coating material [8, 9]. Figure 1. shows a schematic view of the plasma spray method.

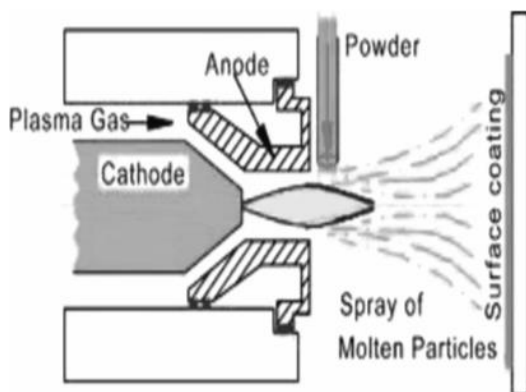


Figure 1. Plasma spray system [10].

Plasma spraying technique is the general definition for different metallic or non-metallic coating application group in the molten or semi-molten state on a substrate prepared for spray accumulation. Molten or semi-molten particles are rapidly directed to the previously prepared surface with the gases and atomized jets used. A mechanical bonding occurs at the interface with the hitting of molten or semi-molten particles to the surface. A coating structure forms with repeating hits and bonding of the directed particles. These finely adherent particles suddenly solidify on the surface of the substrate

by showing a very rapid cooling regime. Thus, the spraying process is completed [11].

In the study by Aslan (2015), biocompatible coatings comprised of mono and double-layered hydroxyapatite (HAP) and TiO_2 powders were produced with plasma spray coating method on the surfaces of AISI 316L stainless steel materials used as implant material. They observed that the corrosion resistance of AISI 316 L stainless steels coated with HAP improved [12]. In their study, Islak et al. (2019), investigated the microstructure, wear and corrosion properties of Ti_3SiC_2 MAX phase coating produced on AISI 304 stainless steel by plasma spray method. The wear properties of the coating and substrate were determined using the scratch test. The friction coefficient of the coating layer was found to be low compared to the substrate [13]. Irsat (2016) obtained the coating material by accumulating mechanical alloyed composite powder Al-12Si with 100 mm spray distance and Al-12Si/ SiO_2 with 150 mm spray distance on surface of Al matrix with plasma spray method on the base material and they observed that the alumina formation increased as coating distance increased [14].

Materials and Methods

Firstly, the X6Cr17 ferritic stainless steel plates were cut, then their surfaces were coated with Al_2O_3 powders, whose properties were shown in Table 1, 2, 3 and 4 to have different coating thicknesses by using a plasma spray coating device setup in a private company in Figure 2. Table 2 shows chemical composition of the material used in the experimental study.

Table 1. Properties of powders used in coating process

Oxide Powder	Powder Grain Size	Powder Morphology	Chemical Composition
Aluminum Oxide Al ₂ O ₃ Amdry 6220	-22+5µm	Angular	Al ₂ O ₃ 13TiO ₂

Table 2. Chemical composition of X6Cr17 ferritic stainless steels.

Weight (%) Composition							
Material	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
X6Cr17	Balance	0.055	0.045	0.420	0.031	0.008	17.0

Table 3. Mechanical properties of X6Cr17 ferritic stainless steels.

Materials	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength 0.2% (MPa)	Elongation. (%)	Microhardness (Rockwell B)
X6Cr17	517	345	25	170

Table 4. Codes of coated samples used in the experimental study

Substrate Material ↓ X6Cr17	Al ₂ O ₃ coating thickness		
	0-100µm	100-200µm	200-300µm
Code →	A1	A2	A3



Figure 2. Plasma spray coating system that used for coating

The microhardness of the coatings was measured using Vickers (HV 20) indenter at Futuretech hardness device.

The average hardness values of three measurements were calculated. Coating thickness and width of wear scar of samples were calculated by using Clemex Software of Nikon Optical Microscope. Wear test; Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering was carried out with wear tester. The abrasion tester used is shown in Figure 3. Wear tests; it was carried out by using 10 mm diameter ceramic ball at a speed of 15 cm/sec, under a load of 5 N and at a temperature of 20 °C over a shear distance of 1000 m.



Figure 3. Wear test apparatus

Results

Coating Thickness

The results of coating thickness measurement of the samples are given in the Figure 4. There is a difference of 100 microns between each coated sample. In Figure 4.1., the stereo microscope images of the coatings made by plasma spray method are given. Oxide coatings on X6Cr17 ferritic stainless steels adhere homogeneously to the substrate. No cracks were observed in the coatings and the substrate material, and no negativity was observed which could cause the coating to detach from the sample. There are laminated structures and porosities on the oxide coated surfaces. The lamellar structure observed is the deformation of

the Al₂O₃ alloy in the molten state by hitting and solidifying the substrate.

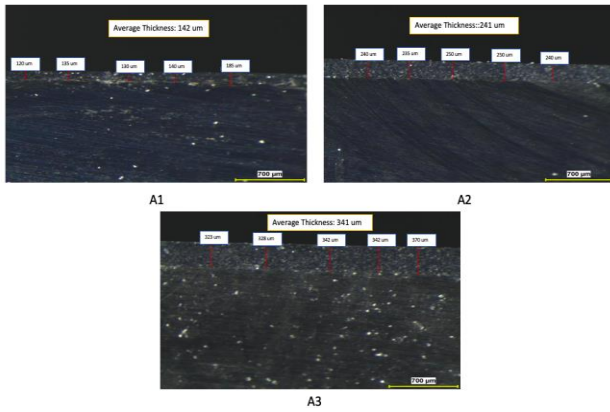


Figure 4. Images of coating thickness of A1, A2 and A3 samples

Hardness Test Results

Results of microhardness measurement of A1, A2, A3 samples were summarized in Table 5. The hardness results were obtained close to each other. While the lowest hardness was obtained in the A1 sample with the thinnest coating layer, the highest hardness was not obtained due to the effects such as gaps in the A3 sample with the thickest coating. The highest hardness value is in A2 sample.

Table 5. Microhardness test results of coated sample

Sample Code	Microhardness (HV)
A1	540±85
A2	880±88
A3	740±78

Wear Test Results

All samples were exposed to 1000 meters of wear road. The volume loss graph of all samples on the 1000 meters wear road is given in Figure 5. Here

the volume loss is given in mm³. Volume loss was calculated based on the wear scar depth obtained from the roughness tester. In Figure 6 and Table 6, informations of wear track widths of A1, A2 and A3 samples was given.

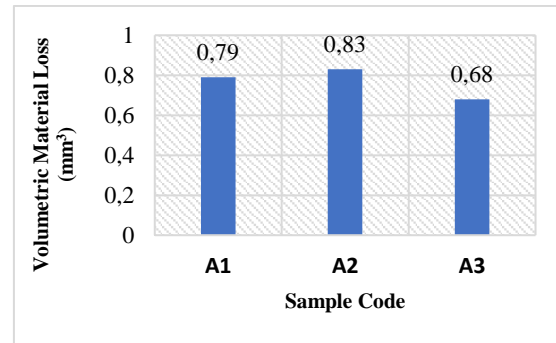
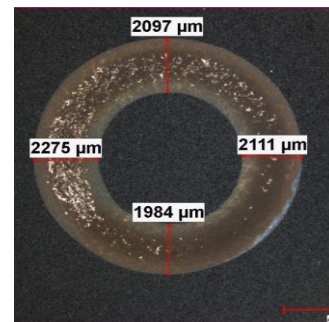
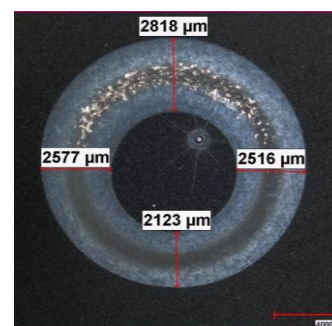


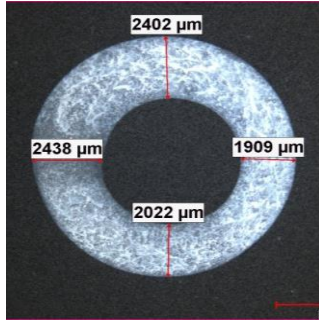
Figure 5. Graphic of volumetric material loss of A1, A2 and A3 samples at end of 1000m wear distance



A1



A2



A3

Figure 6. Images of wear track widths of A1, A2 and A3 samples

Table 6. Average wear scar widths of A1, A2 and A3 samples

Sample code	Wear debris widths (μm)
A1	2116.75 \pm 120
A2	2508.5 \pm 288
A3	2192.75 \pm 267

Conclusions

- It was determined because of the conducted tests and investigations that X6Cr17 ferritic stainless steel surfaces were successfully coated with plasma spray method using Al_2O_3 - TiO_2 powders.
- When the wear scars of the samples are examined; the widest wear scar is observed in the A2 sample with 2508.5 μm , while the narrowest wear scar is observed in the A1 sample with 2116.75 μm . Due to the high hardness in the A2 sample, it increased the amount of wear in the form of expansion in the upper surface layer instead of in-depth wear in the coating base.
- It was determined that the wear resistance increased as the coating thickness increased. The best wear resistance was obtained in the A3 sample.

References

1. Taskin M.; Caligulu U.; Kolukisa S. The effect of welding speed on the laser welding of X6Cr17 Ferritic stainless steel with AISI 1010 low Carbon steels. *Practical Metallography* **2009**, 46, 11, pp. 598-607.
2. Akin, U. Investigation of Wear Behavior of Ceramic and Ceramic-Polymer Coatings Coated with Thermal Spray Method on Aluminum Base, Master Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2003.
3. Davis, J.R. Thermal Spray Processes, Handbook of Thermal Spray Technology, International ASM, 329. ASM International, USA, 2004.
4. Aran, A.; Temel, M.A. Production, Use and Standards of Stainless Steels, Saritas Technical Publication, Istanbul, 2004.
5. Kambur, K., The Effect of Different Substrate Temperatures on Coating Properties in Coating of Ti6Al4V alloy with HA. Master's thesis, Manisa Celal Bayar University, Turkey, 2018.
6. Durmuş H ; Çömez N ; Gül C ; Yurddaşkal M . Farklı Kimyasal İçeriğe Sahip Tellerin İki Pasolu Sert Dolgulu Malzemelerin Aşınma Davranışına Etkileri. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. **2018**; 6(2): 561-564.
7. AWS Committee, Thermal Spraying: Practice, Theory, and Application, American Welding Society Inc, 12-15, 1997.
8. Hidalgo, V.H.; Varela, F.J.B.; Martinez, S.P. A comparative study of high-temperature erosion wear of plasma sprayed NiCrBSiFe and WC-NiCrBSiFe coatings under simulated coal-fired boiler conditions, *Tribology International*, **2001**, 24, 161–169.
9. Islak, S.; Ozorak, C.; Kucuk, O.; Akkas, M.; Sezgin, C. Microstructure and Hardness Properties of high velocity oxygen fuel (HVOF) Sprayed WCCo-SiC Coatings, Kastamonu University, *Journal of*

- Engineering and Science*, **2015**, Vol.1, pp. 1–7.
10. Rajarathnam D. R. P.; Jayaraman M. Investigation of the wear behaviour of an AISI 1040 forged steel shaft with plasma-spray ceramic-oxide coatings for sugar-cane mills. *Materiali in tehnologije*, **2017**. 51(6), 939-944.
 11. Sert, Y., Examining Wear Properties of Textile Piece Coated with Plasma Spray Technique, Master's thesis, Sakarya University Institute of Science, Sakarya, 2007.
 12. Aslan O., Examining Corrosion Behaviors of Single and Double layered AISI 316L Stainless Steel Coated by Plasma Spray Coating, Afyon Kocatepe University, Afyon, 2015.
 13. Islak, S ; Özorak, C ; Eski, Ö . Plazma Sprey Yöntemiyle AISI 304 Paslanmaz Çelik Üzerinde Üretilen Ti₃SiC₂ MAX Fazlı Kaplamamın Karakterizasyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **2019**, 8 (1), 206-213. DOI: 10.17798/bitlisfen.453085
 14. Irsat C., Determining Corrosion Behavior of Al-12Si Plasma Spray Composite Coatings Reinforced with In-Situ Al₂O₃ Phases, Master's thesis, Atatürk University Institute of Science, 2016.

Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması

Investigation of The Biogas and Electric Production Potential and Cost from The Cattle Waste in Kayseri

Hande NURALAN POYRAZ¹, Gülşah ELDEN², Gamze GENÇ^{3*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Kayseri, hnuralan@hotmail.com

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, gulsah@erciyes.edu.tr

³ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, gamzegenc@erciyes.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 31 Mayıs 2020
Düzeltilme: 28 Haziran 2020
Kabul: 7 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Biyogaz Enerjisi, Biyogaz Üretim Potansiyeli, Elektrik Üretim Potansiyeli, Kademelenendirilmiş Enerji Maliyeti

ÖZET

Bu çalışmada Kayseri ili Kocasinan ve Melikgazi ilçelerindeki büyükbaş hayvan atığından biyogaz ve elektrik üretim potansiyelleri araştırılmıştır. Ayrıca, biyogaz ve elektrik üretimini ekonomik ve çevresel açıdan da değerlendirmek üzere 3 farklı durum ele alınmıştır. Birinci durumda tüm atıkların bir, ikinci durumda iki ve üçüncü durumda üç farklı tesiste toplanacağı kabul edilmiştir. Ele alınan her bir durumda atıkların taşınması ve biyogazdan elektrik üretimi kaynaklı açığa çıkan CO₂ salınımları ve kademelenendirilmiş enerji maliyet modeli kullanılarak elektrik üretim maliyeti belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek biyogaz ve elektrik üretim potansiyeli Kocasinan ilçesinde bulunan Oymağaç mahallesindedir. Bununla beraber, çevresel açıdan en düşük CO₂ salınımı DURUM III'de gerçekleşirken, ekonomik açıdan ise en düşük elektrik üretim maliyeti DURUM II'de elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.745837

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 May 2020
Revised: 28 June 2020
Accepted: 7 July 2020

Keywords:

Biogas energy, Biogas production potential, Electric production potential, Levelized cost of electricity method

ABSTRACT

In this study, the potentials of biogas and electric production from the cattle waste in the Kocasinan and Melikgazi districts of Kayseri were investigated. Furthermore, three different cases were considered in order to evaluate the productions in terms of environmental and economic aspects. It is assumed that the waste can be collected in the one, two and three plants in the first, second and third cases, respectively. In all considered cases, CO₂ emission resulted from transporting of waste and electric production from biogas was determined and electric production cost was calculated by using levelized cost of electricity method. The results were brought that the highest biogas and electric production potential was obtained in Oymağaç neighborhood in Kocasinan district. However, while the lowest environmental CO₂ emission was occurred in Case III, the lowest electricity production cost was achieved in Case II.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Gamze GENÇ
✉ gamzegenc@erciyes.edu.tr

Giriş

Günümüzde nüfus ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamakta en çok kullanılan fosil kökenli yakıtların rezervlerinin tükeniyor olması ve sera gazı etkilerinin getirdiği olumsuzluklar nedeniyle alternatif ve temiz enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arasında ise son yıllarda biyogaz enerjisi göze çarpmaktadır. Biyogaz enerjisi mikro algler, gıda ve tarımsal atıklar, hayvan gübreleri, kümes hayvan atıkları, belediye katı atıkları, endüstriyel atıklar, orman atıkları ve çeşitli enerji bitkilerinden üretilebilir. Bu organik atıklar, anaerobik ortamda mikrobiyolojik floranın etkisi ile içeriğinde %52 metan gazı, %45 CO₂ ve %3'lük H₂S, O₂, N₂, H₂ ve CO bulunan biyogaza dönüşür. Biyogazın içeriğindeki CH₄ hariç CO₂ ve diğer bileşenler uzaklaştırılarak, metan saflaştırılıp ısı ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir [1]. Çevre ve yer altı sularının kirlenmesini engellemek için hayvancılık faaliyetleri sonucunda açığa çıkan gübrelere kontrollü atık tekniği uygulamak hem çevresel etkiler hem de enerji üretimi açısından önem arz etmektedir. Dünyada ve ülkemizde günlük atık miktarının fazla olması nedeniyle, biyogaz enerjisi üretimi için, en fazla büyük baş hayvan gübresi tercih edilmektedir [2,3]. Ülkemiz açısından biyokütle ve biyogaz enerjisi üretiminin son zamanlarda artmasıyla kamuda ve özel sektörde bu alana ilişkin yatırım faaliyetleri de büyük bir hızla artmaktadır. Ancak biyogaz enerjisi açısından ülkemizin büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen istenilen seviyelerde bir kaynak kullanımı ve üretiminin olmadığı görülmektedir.

Gerek hayvansal atıklar gerek bitkisel atıklardan biyogaz ve biyogazdan elektrik üretimi üzerine uzun yıllardır birçok çalışma yapılmaktadır. Achinas ve arkadaşları [4] anaerobik dönüşüm esnasında inek gübresinin koyun gübresi ile farklı oranlarda karışımları için biyogaz üretim potansiyeli araştırılmıştır ve çalışmanın sonuçlarına göre tek başına inek gübresinin biyogaz üretimi için baskın faktör oluşturduğu ve en yüksek biyogaz üretimine sahip olduğu bulunmuştur. Özer çalışmasında [5] Ardahan ili için hayvansal gübre ve tarımsal atıkları kullanarak biyogaz potansiyelini incelemiştir ve 1.72 Mton/yıl hayvansal atık ve 48 bin ton/yıl tarımsal atık bu atıklardan toplamda, 81 m³/yıl

metan üretimi ve 323 GWh/yıl enerji eşdeğeri bulmuştur. Belediye atıklarından temiz enerji elde edilebilmesi üzerine yapılan araştırmanın sonucunda 25.4 kW/yıl elektrik üretimi yapılabileceği ve 25 Mton/yıl CO₂ emisyon eşdeğerinin açığa çıkacağı gösterilmiştir [6]. Meyer ve arkadaşları [7] Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan 28 adet eyaletin 2030 yılındaki hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilecek enerji potansiyelini araştırmışlardır. Fazal ve ark. [8] biyo-elektrokimyasal sistemler kullanarak farklı atık sularından anaerobik koşullar altında mikroorganizmalardan da biyogaz üretimi yapılabileceği ifade etmiştir. Biyofilik sıcaklıkta (35°C) hayvan gübresi ve buğday samanı ile biyogaz elde edilebilmektedir [9]. Biyogaz üretimi için atıkların potansiyeli ve veriminin araştırılmasının yanı sıra yaşam döngü analizine dayalı biyogaz üretiminin çevresel değerlendirilmesinin de önem arz etmesinden dolayı Aziz ve arkadaşları [10] bununla ilgili olarak 2006 yılından 2013 yılına kadar yapılmış yaşam döngü analizi üzerine 48 çalışmayı gözden geçirmişlerdir. Kanarya adalarında farklı hayvan türlerinden açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi sonucunda teorik olarak 44.7 m³/yıl biyogaz üretimi gerçekleşirken gerçekte 27.1 m³/yıl gerçekleşmiştir [11]. Bu üretimin yanı sıra 55745.1 ton CO₂ yıllık sera gazı emisyonu tasarrufu sağlanmıştır. Biyogaz üretiminde biyogaz üretimini artırmak için farklı atıklar birbiriyle karıştırılmaktadır. Wei ve arkadaşları [12] Tibet platosunda 15°C sıcaklıkta arpa ile Tibet domuzu ve inek gübrelerinin biyogaz üretim potansiyelleri araştırdılar ve sonuç olarak arpa-Tibet domuzu ve arpa-inek gübresi karışımlarından sırası ile 233.4 ml/Gvs ve 192.0 ml/Gvs biyogaz üretilmiştir. Scarlet ve arkadaşları [13] Avrupa için çiftlik ve kümes hayvanlarının atık miktarlarına bağlı teorik olarak 26 milyar m³ biyometan üretilebileceğini belirtmişlerdir. Türker ve Avcıoğlu [14] 2009 yılında yapılan sayıma göre Türkiye'nin biyogaz potansiyelini 2.18 gm³ olarak bulurken Öztürk ve arkadaşlarının [15] yaptığı çalışmaya göre 2030 yılına kadar Türkiye'nin toplam biyogaz üretiminin 52.5 TEP değerine erişeceği belirtilmiştir. Türkiye'nin biyogaz esaslı enerji kaynaklarının potansiyel değerlendirmesine göre Türkiye'nin belediye atıklarından 4.85 TWh/yıl, tarımsal atıktan 165.29 TWh/yıl ve hayvansal atıktan 16.19 TWh/yıl biyogaz enerji üretebilme potansiyeli vardır [16]. İtalya'da farklı güçlere

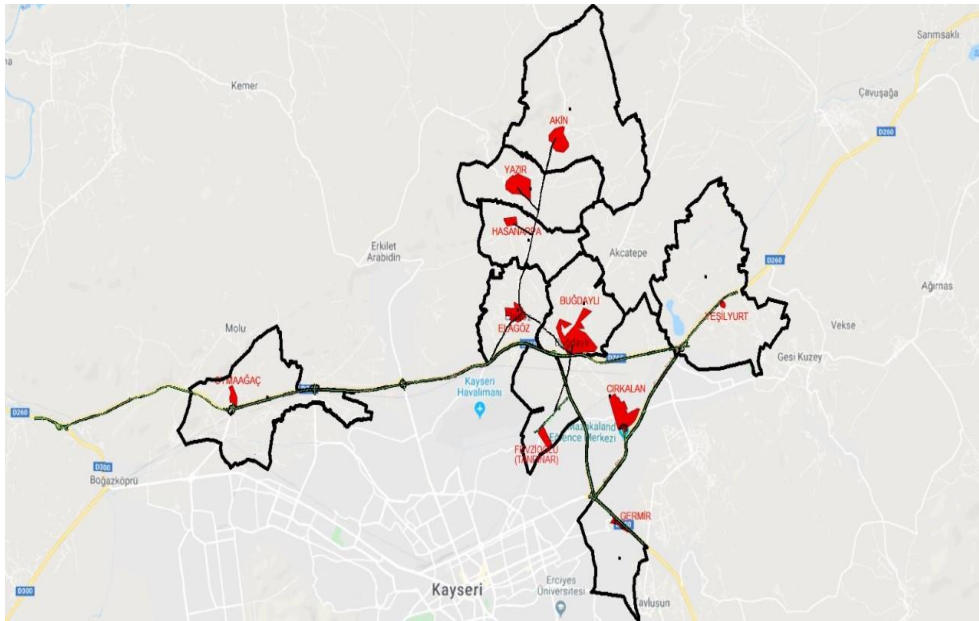
(100 kW, 200 kW ve 300 kW'lık) sahip süt ineği atığı kullanan biyogaz tesisleri için yapılan ekonomik değerlendirmeye göre 200 kW gücünde tesis minimum boyutlardadır ve 350 m³/s biyometan üretilmiştir [17]. Klavon ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada öncelikle ABD'de 150-200 süt ineği bulunan bir işletme için ekonomik fizibilite araştırması yapmışlardır ve ayrıca ekonomik fizibilitesi olan bir tesis için süt ineği sayısını belirlemişlerdir. Isıtma ve elektrik üretimi için biyogaz kullanımının ücreti yıllık inek başına 47-70\$ arasında değişirken, çalışmada biyogaz üretiminde ekonomik açıdan en uygun tesisin en az 250 ineğe sahip olması gerektiği öne sürülmüştür. Cruz ve arkadaşları çalışmalarında [19] biyogaz tesislerinde anaerobik çürütücülerde sıcaklık, pH, basınç gibi parametrelerin arduino ve düşük maliyetli elektronik ekipmanlar ile kontrol edilmesi durumunda tesisin veriminin arttığını ifade etmişlerdir. 2016 verilerine göre Adıyaman [20] ve Sivas [21] illerinde yapılan biyogaz potansiyel araştırma çalışmalarının sonuçlarına göre sırasıyla biyogaz ile yaklaşık 70.5 GWh ve 246 GWh elektrik üretilebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada Kayseri ili merkez ilçeleri olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde bulunan büyükbaş hayvan sayıları incelenmiş ve bu ilçelerden hayvan yoğunlukları fazla olan

bölgeler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu bölgelerin ilk olarak biyogaz ve elektrik üretim potansiyelleri incelenmiştir. Daha sonra tesis kurulum yeri olarak üç farklı durum incelenerek her bir durum için ayrı ayrı elektrik üretim maliyetleri ve CO₂ emisyonları hesaplanmıştır.

Kayseri İli Büyükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyeli

Bu çalışmanın amacı, Kayseri ilinde büyükbaş hayvan yetiştiriciliği en fazla olan mahallelerin biyogaz üretim potansiyelini ve üretilen biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi miktarlarını belirlemektir. Bu amacı gerçekleştirmek için büyükbaş hayvan yetiştiriciliği en fazla olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde bulunan Akın, Buğdaylı, Cırgalan, Elagöz, Germir, Hasanarpa, Oymağaç, Tanpınar, Yazır ve Yeşilyurt mahalleleri ele alınmıştır. Bu mahallelerin coğrafi konumları Şekil 1'de ve ele alınan mahallelerin birbirine göre mesafeleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, çevresel etkisi, kurulum ve işletme maliyeti en az olan biyogaz ve elektrik enerjisi üretim tesisini belirlemek için tesis yeri olarak üç farklı durum ele alınmıştır.



Şekil 1. Ele alınan mahallelerin coğrafi konumlar

Tablo 1. Ele alınan mahallerin birbirine göre mesafeleri [km]

Germir	17.3								
Cırgalan	9.7	9							
Tanpınar	14.7	9.1	6.7						
Buğdaylı	12.5	7.1	2.8	4.8					
Elagöz	14.9	9.6	5.3	7.2	3.2				
Hasan Arpa	18.4	13	8.7	10.7	6.6	3.8			
Yazır	19.6	14.3	10	11.9	7.9	5.1	1.6		
Akın	21.1	15.7	11.5	13.4	9.4	6.6	4.9	2.8	
Oymaağaç	25.4	21.6	19.3	17.9	17.4	14.5	17.7	19.4	21.9
Km	Yeşilyurt	Germir	Cırgalan	Tanpınar	Buğdaylı	Elagöz	HasanArpa	Yazır	Akın

Kayseri ilinde bulunan Melikgazi ve Kocasinan ilçelerindeki büyükbaş hayvan yetiştiriciliği (süt sığırı) en fazla olan mahallelerdeki biyogaz üretim potansiyelini ortaya çıkarmak için aşağıdaki kabuller yapılarak mahallelere göre biyogaz ve özgül metan üretim miktarları literatürde yer alan hesaplamalar yardımıyla [22] hesaplanmıştır.

- Toplam atık miktarı (TAM) hesaplanırken büyük baş hayvan (süt sığırı) başına günlük atık miktarı 43 kg olarak kabul edilmiştir.
- Açığa çıkan gübrenin %13.95'i kuru madde (KM) ve kuru maddenin ise %83.33'ü organik kuru madde (OKM) olarak hesaba katılmıştır [22].

Oluşacak biyogaz üretim potansiyeli (BÜP, m³) ve özgül metan üretim (ÖMÜ, m³CH₄) miktarı ise sırasıyla Eş.1 ve Eş.2 ile elde edilmiştir.

$$BÜP=OKM \times 0.30 \quad (1)$$

$$ÖMÜ=OKM \times 0.18 \quad (2)$$

Biyogazdan üretilebilecek ısı miktarı (BSI, GJ/yıl) ve elektrik enerjisi miktarı (BSE, kWh/yıl) sırasıyla Eş.3 ve Eş.4 ile hesaplanmıştır.

$$BSI=BÜP \times 0.021 \quad (3)$$

$$BSE = BÜP \times 4.7 \quad (4)$$

Bulgular

Biyogaz üretim miktarı ve bu biyogazdan üretilen elektrik enerjisi miktarları ele alınan her mahalle için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, kurulacak olan biyogaz üretim tesisi için üç farklı durum ele alınarak bu durumların çevresel etkileri araştırılmış olup her bir durum için detaylı bir maliyet analizi de yapılmıştır.

Atık Miktarlarının Değişimi

Tablo 2'de her bir mahallede bulunan hayvan sayısı ve bu hayvanlardan açığa çıkan yıllık atık miktarı, kuru madde ve organik kuru madde miktarları verilmiştir. En fazla büyükbaş hayvan Oymaağaç'ta (8251 adet) iken en az büyükbaş hayvan Cırgalan mahallesindedir (192 adet).

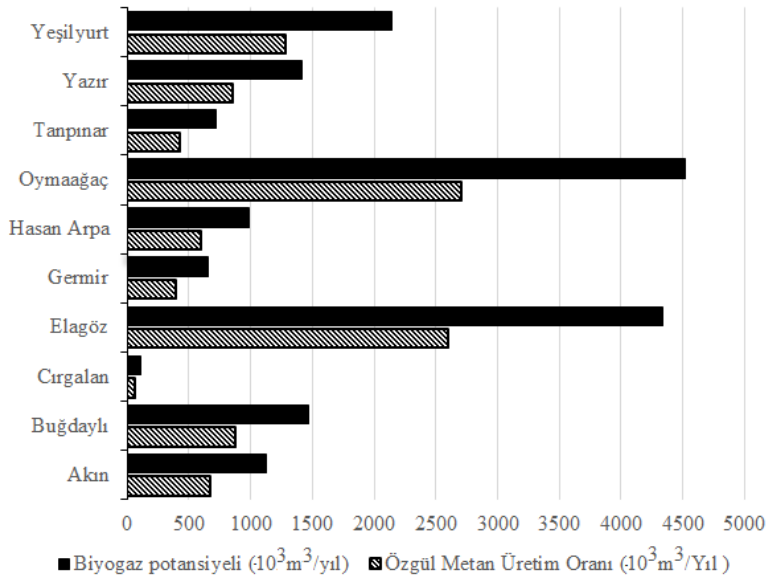
Tablo2. Mahallelere göre hayvan sayıları ve atık miktarları

Mahalleler	Büyükbaş Hayvan Adedi	TAM (Toplam Atık Miktarı) [ton/yıl]	KM (Kuru Madde Miktarı) [ton/yıl]	OKM (Organik Kuru Madde Miktarı) [ton/yıl]
Akın	2052	32206.140	4492.757	3743.814
Buğdaylı	2677	42015.515	5861.164	4884.108
Cırgalan	192	3013.440	420.375	350.298
Elagöz	7923	124351.485	17347.032	14455.282
Germir	1205	18912.475	2638.290	2198.487
Hasan Arpa	1805	28329.475	3951.962	3293.170
Oymaağaç	8251	129499.445	18065.173	15053.708
Tanpınar	1311	20576.145	2870.372	2391.881
Yazır	2586	40587.270	5661.924	4718.081
Yeşilyurt	3913	61414.535	8567.328	7139.154
Toplam	31915	500905.925	69876.377	58227.985

Yapılan hesaplamalar neticesinde en fazla hayvan potansiyeli olan Oymağaç mahallesinde 129499.445 ton/yıl toplam atık, 18065.173 ton/yıl kuru madde, 15053.708 ton/yıl organik kuru madde olduğu en düşük hayvan potansiyeli olan Cırgalan mahallesinde ise 3013.440 ton/yıl toplam atık, 420.375 ton/yıl kuru madde, 350.298 ton/yıl organik kuru madde miktarı olduğu tespit edilmiştir.

Biyogaz ve Özgül Metan Üretim Potansiyeli

Mahaller bazında biyogaz ve özgül metan üretim potansiyelleri Şekil 2’de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere en fazla biyogaz ve özgül metan üretim potansiyeli sırası ile Oymağaç, Elagöz ve Yeşilyurt’tadır. Oymağaç’taki biyogaz ve özgül metan üretim potansiyelleri sırasıyla $4516.112 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve $2709.667 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’dır. En düşük potansiyele sahip olan Cırgalan’da ise sırası ile $105.090 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve $63.054 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’dır.



Şekil 2. Mahallelere göre biyogaz ve özgül metan üretimi potansiyeli

Elektrik Üretim Potansiyeli

Şekil 3’te verilen grafikte mahalleler bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları verilmiştir. Biyogaz ve özgül metan üretim potansiyellerinin yüksek olmasından dolayı elektrik enerjisi potansiyeli en iyi olan ilk üç mahalle sırası ile Oymağaç, Elagöz ve Yeşilyurt’tur. En yüksek elektrik üretimi 21.23 GWh/yıl ile Oymağaçta gerçekleşmektedir. Ele alınan mahallelerin tamamında toplam 82.1 GWh/yıl elektrik üretilmektedir.

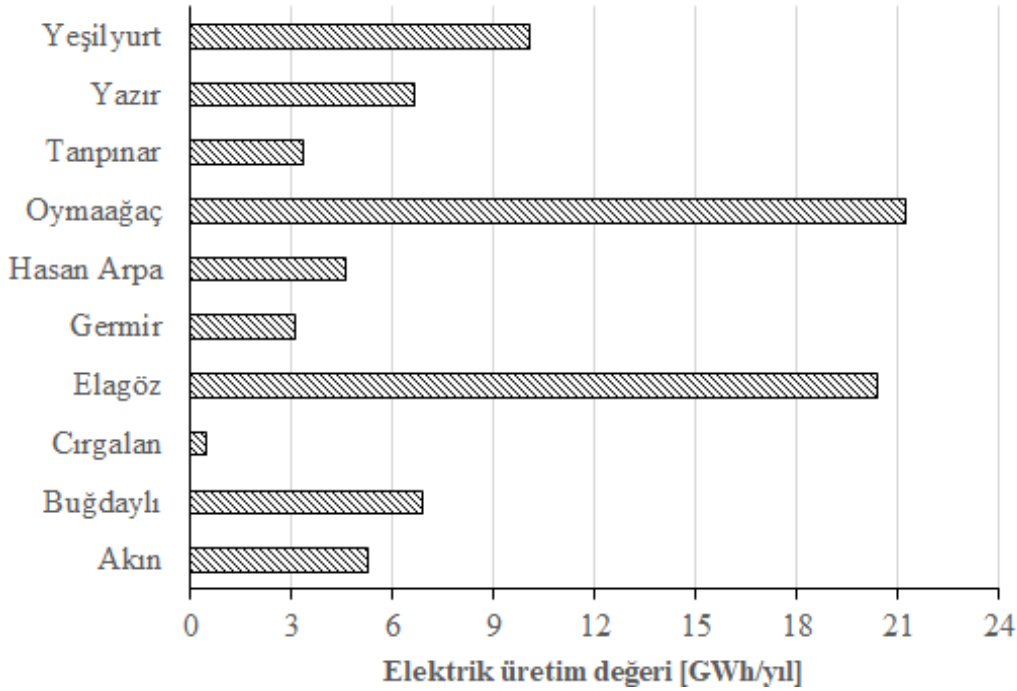
Tesis Kurulum Sahasının Belirlenmesi

Sürdürülebilir bir biyogaz ve elektrik üretimi için ekonomik ve çevresel değerlendirme yapmakta önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada biyogazdan elektrik üretimini ekonomik ve

çevresel etkiler açısından da değerlendirmek üzere tesis kurulum yerinin belirlenmesi için farklı planlamalar yapılmıştır. Yapılan planlamalarda özellikle hayvansal atıkların taşınması ve biyogaz üretimi esnasında açığa çıkan CO_2 miktarının değişimi incelenmiştir. Bu bağlamda 3 farklı durum ele alınmıştır. Birinci durumda (DURUM I) mevcut büyükbaş hayvan atıklarının tamamının en fazla atık potansiyeli olan Oymağaç’ta toplanarak tesisin Oymağaç’a kurulması planlanmıştır. İkinci durumda (DURUM II) hem potansiyelinin yüksek olması hem de konum itibari ile diğer mahallere uzak olması nedeni ile Oymağaç’a bir tesis ve diğer mahalleler arasında daha merkezi konuma sahip olmasından dolayı bir tesiste Buğdaylı da olmak üzere iki adet tesis kurulumu planlanmıştır. DURUM II’de Oymağaç hariç tüm mahallelerdeki atıklar Buğdaylı’ya taşınacaktır.

Üçüncü durumda (DURUM III) ise hem atık potansiyelleri hem de konum itibari ile üç tesis kurulumu planlanmıştır. Kurulması düşünülen tesisler Oymağaç, Yeşilyurt ve Elagöz'de yer alacaktır. DURUM III'te yine DURUM II'de olduğu gibi Oymağaç'ta bulunan mevcut atıklar ile Oymağaç'taki tesiste işlenirken Cırgalan, Germir ve Yeşilyurt bölgesindeki atıklar Yeşilyurt bölgesinde ve Elagöz, Yazır, Akın, Buğdaylı, Tanpınar, Hasanarpa da bulunan

atıkların Elagöz'de işlenmesi planlanmıştır. Ele alınan her bir durumda atıkların taşınması ve biyogaz üretimi sonucu oluşan CO₂ miktarları Tablo3'te verilmiştir. Bu çalışmada taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonu hesaplanırken kullanılan araçların her km'de 0.19 lt yakıt tükettiği ve kullanılan yakıtın her bir litresi başına literatüre uygun olarak 2.65 kg CO₂ emisyonu açığa çıktığı kabul edilmiştir [23, 24].



Şekil 3. Ele alınan her bir mahalle için elektrik üretim değerleri [GWh/yıl]

DURUM I'de aralarındaki mesafe en fazla olan Yeşilyurt-Oymağaç mahalleleri arasında gübre taşıma işlemi esnasında meydana gelecek olan yıllık CO₂ emisyonu 65.452 ton iken taşınacak gübre miktarının Elagöz mahallesinde çok fazla olmasından dolayı sefer sayısı fazladır ve bundan dolayı burada taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonu 79.943 ton'dur. DURUM I'de taşımacılıktan meydana gelecek olan yıllık toplam CO₂ emisyonu ise 321.895 ton olarak hesaplanmıştır. DURUM II'de atık miktarının fazla olmasına karşın Buğdaylı-Yeşilyurt mahalleleri arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı DURUM II içerisinde taşımacılıktan kaynaklanan yıllık CO₂ emisyonu'ndaki en yüksek pay Buğdaylı-Yeşilyurt arasındadır ve 32.211 ton CO₂ açığa çıkmaktadır. DURUM III'te taşımacılıktan

meydana gelen en fazla CO₂ emisyonu ise Elagöz-Akın mahalleri arasındadır ve değeri 9.703 ton'dur. DURUM II ve DURUM III'te taşımacılıktan meydana gelen yıllık toplam CO₂ emisyonu sırasıyla 97.047 ve 54.707 ton'dur.

Ele alınan her bir durumda biyogaz üretimi ve taşımacılık kaynaklı toplam CO₂ emisyonunun değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir. Kayseri ili için toplam atık potansiyeline göre elde edilen biyogazdan elektrik üretim miktarına karşılık açığa çıkacak CO₂ emisyonu belirlendi. Bu emisyon belirlenirken literatürde yer alan birincil kaynaklı elektrik enerjisi üretiminde açığa çıkan CO₂ emisyonu baz alınmıştır ve bu değer biyogaz esaslı elektrik üretimi için 26 ton-CO₂/GWh'dir [25].

Üretilen yıllık toplam elektrik miktarına göre bu çalışmada elektrik üretimi sonucunda açığa çıkan yıllık CO₂ salınımı 2134.638 ton'dur. DURUM I, II ve III için taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ salınımları ise sırasıyla 321.895, 97.047 ve 54.707 ton'dur. Toplam CO₂ salınımlarına bakıldığında incelenen üç durum içerisinde en fazla CO₂ emisyonu DURUM I'de ve en düşük emisyon ise DURUM III'tedir. Taşımacılığın toplam CO₂ salınımindaki payının düşük olmasına karşın taşımacılıkta üç durum kendi

içinde irdelendiğinde tesisin kurulum yerinin CO₂ salınımını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu yüzden, tesis kurulum yeri bu açıdan mutlaka analiz edilmelidir. Bu çalışmada ele alınan biyogazdan elde edilen elektrik enerjisine eşdeğer elektrik eğer doğalgaz veya ithal kömür kullanılarak gerçekleştirilseydi elektrik üretimi kaynaklı açığa çıkan CO₂ emisyon miktarları sırasıyla 40968.628 ton ve 72906.095 ton olacaktır.

Tablo.3 Ele alınan her bir durum için sefer sayılarının ve CO₂ emisyonlarının değişimi

	Tesis Yeri	Mahalleler	Toplam Atık Miktarı [ton/gün]	Günlük Sefer Sayısı	CO ₂ -taşıma [ton/yıl]	CO ₂ -biyogaz-elektrik [ton/yıl]
DURUM-I	Oymaağaç	Akın	88.24	8	32.198	137.248
		Buğdaylı	115.11	10	31.977	179.051
		Cırgalan	8.26	2	7.094	12.842
		Elagöz	340.69	28	79.943	529.931
		Germir	51.82	4	23.818	80.597
		Hasan Arpa	77.62	6	26.023	120.728
		Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
		Tanpınar	56.37	6	19.738	87.686
		Yazır	111.20	10	35.653	172.965
		Yeşilyurt	168.26	14	65.452	261.721
		Toplam	1372.35		321.895	2134.638
		TOPLAM	1372.35		321.895	2134.638
DURUM-II	Buğdaylı	Akın	88.24	8	13.820	137.248
		Buğdaylı	115.11	-	0.000	179.051
		Cırgalan	8.26	2	1.029	12.842
		Elagöz	340.69	28	16.696	529.931
		Germir	51.82	4	5.634	80.597
		Hasan Arpa	77.62	6	7.845	120.728
		Tanpınar	56.37	6	5.293	87.686
		Yazır	111.20	10	14.518	172.965
		Yeşilyurt	168.26	14	32.211	261.721
		Toplam	1017.55		97.047	1582.769
	Oymaağaç	Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
	Toplam	354.79		0.000	551.869	
	TOPLAM	1372.35		97.047	2134.638	
DURUM-III	Yeşil yurt	Cırgalan	8.26	2	3.565	12.8427
		Germir	51.82	4	13.728	80.597
		Yeşilyurt	168.26	-	0.000	261.721
		Toplam	228.33		17.293	355.160
	Oymaağaç	Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
		Toplam	354.79	-	0.000	551.869
	Elagöz	Elagöz	340.69	-	0.000	529.93
		Yazır	111.20	10	9.373	172.96
		Akın	88.24	8	9.703	137.24
		Buğdaylı	115.11	10	5.881	179.05
		Tanpınar	56.37	6	7.939	87.68
		Hasan Arpa	77.62	6	4.517	120.72
		Toplam	789.22		37.413	1227.609
		TOPLAM	1372.35		54.707	2134.638

Tablo.4 Ele alınan her bir durum için sefer sayılarının ve CO₂ emisyonlarının değişimi

	CO ₂ -taşıma [ton/yıl]	CO ₂ -biyogaz [ton/yıl]	Toplam CO ₂ [ton/yıl]
DURUM I	321.895	2134.638	2456.533
DURUM II	97.047	2134.638	2231.685
DURUM III	54.707	2134.638	2189.305

Maliyet Analizi

Ele alınan her bir durum için biyogazdan elektrik üretmenin birim maliyetini bulmak için bu çalışmada kademelendirilmiş elektrik maliyet modeli kullanılmıştır. Kademelendirilmiş elektrik maliyet modelinde sistemin ilk yatırım masraflarından sistemin ömrü boyunca harcanacak olan bakım-onarım maliyetleri, işçilik maliyetleri, işletme maliyetleri gibi tüm kalemler dikkate alınarak yapılır. Ayrıca, hesaplamalarda eskalasyon oranı ve iskonto oranı gibi faktörler de dikkate alınarak gerçekçi bir maliyet analizi yapılması sağlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bir biyogaz tesisi için kW güç başına özgül yatırım maliyeti (M_{kWh}) ortalama 2000-5000 € arasında veya m³ reaktör hacmi başına 200-500 € arasında değiştiği görülmektedir [22]. Biyogaz güç

tesisinin ilk yatırım maliyeti Eş.5 ile hesaplanmaktadır.

$$M_{BGT} = P \cdot M_{kWh} \quad (5)$$

Burada P tesisin toplam gücünü göstermektedir. Biyogaz güç tesisinin toplam yatırım maliyetinin ise yaklaşık %40'ını biyogaz tesisi, %30'unu kojenerasyon tesisi, %15'ini yardımcı ekipmanlar, %5'ini işçilik ve kurulum maliyetleri ile %10'unu projelendirme ve mühendislik hizmetleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada özgül yatırım maliyetinin kW güç başına 3000 € olduğu kabul edilmiştir.

Sistem ömrü, iskonto oranı ve eskalasyon oranına göre hesaplanmış bakım-onarım ve ulaşım maliyetlerini dikkate alarak birim elektrik üretimi kademelendirilmiş enerji maliyet modeline göre Eş.6 ile hesaplanabilir [26]:

$$M_{el} = \frac{M_{BT} \cdot SF_{BT} + M_{KT} \cdot SF_{KT} + M_{YE} \cdot SF_{YE} + M_{IK} \cdot SF_{IK} + M_{proje} + M_{BO(esk)} + M_{ulasim(esk)}}{E_{el}} \quad (6)$$

Burada M maliyetleri, BT biyogaz tesisi, KT kojenerasyon tesisi, YE yardımcı ekipmanları, IK işçilik kurulum, $proje$ projelendirme maliyetlerini ifade etmektedir. $BO(esk)$ ve $ulasim(esk)$ ise eşkâle edilmiş bakım-onarım ve ulaşım masraflarını ve E_{el} toplam elektrik üretimini göstermektedir. SF sermaye dönüşüm faktörünü göstermekte olup bir ekipmanın ömrü boyunca değişen masrafını sabit hale getirmek için kullanılan yıllık değişim oranıdır ve aşağıda verilen Eş.7 ile bulunabilir.

$$SF = \frac{n \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

Burada i iskonto oranını ve n ise sistem ömrünü ifade etmektedir. Bu çalışmada iskonto oranı

%10 ve sistem ömrü BT ve KT için 25 yıl kabul edilmiştir.

Aşağıda verilen Eş.6 ve 7 kullanılarak eskale edilmiş bakım-onarım ve ulaşım maliyetlerini hesaplanmıştır:

$$M_{BO(esk)} = \frac{M_{BO}}{i-e} \cdot \left(1 - \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n}\right) \quad (8)$$

$$M_{ulasim(esk)} = \frac{M_{ulasim}}{i-e} \cdot \left(1 - \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n}\right) \quad (9)$$

M_{BO} ve M_{ulasim} birinci yıl için bakım-onarım ve ulaşım giderlerini göstermektedir. Bakım onarım maliyeti (M_{BO}) biyogaz güç tesislerinde yaklaşık sistemin toplam maliyetinin %6'sı kadardır. Burada e eskalasyon oranını ifade etmektedir. Bakım onarım maliyeti için eskalasyon oranı

yaklaşık %3 iken ulaşım masrafları için %4 kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan her bir durum için sistem kurulu güç kapasiteleri, ulaşım masrafları ve hesaplanan elektrik üretim maliyetleri Tablo 5'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi birim elektrik üretim maliyeti en düşük DURUM II'de

Buğdaylı tesisi için (0.133 €/kWh), en yüksek maliyet ise DURUM III'de Yeşilyurt tesisi için (0.174 €/kWh) çıkmıştır. Durumlar arasında değerlendirme yapmak için her bir durumdaki ortalama birim elektrik tüketimi dikkate alındığında ekonomik olarak en iyi durumun DURUM II olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo.5 Elektrik üretim maliyeti

Tesis Yeri	DURUM I		DURUM II		DURUM III	
	OYMAĞAÇ	BUĞDAYLI	OYMAĞAÇ	YEŞİLYURT	ELAGÖZ	OYMAĞAÇ
Kurulu Güç [MW]	14	10	4	3	8	4
Ulaşım Masrafları [€/yıl]	125000	38000	0	6500	14500	0
M _{el} [€/kWh]	0.150	0.133	0.144	0.174	0.134	0.144
M _{el-ort} [€/kWh]	0.150	0.139		0.151		

Sonuçlar

Kayseri İli merkez ilçeleri olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerine bağlı, en fazla büyükbaş hayvan olan Akın, Buğdaylı, Cırgalan, Elagöz, Germir, Hasan Arpa, Oymağaç, Tanpınar, Yazır, Yeşilyurt mahallelerindeki atık miktarı tespit edilerek biyogaz ve elektrik üretim potansiyellerinin ve tesis yeri olarak 3 farklı durumun incelendiği bu çalışmada özet olarak aşağıdaki temel sonuçlar elde edilmiştir:

- Atık miktarı en fazla olan Oymağaç mahallesinin yıllık toplam elektrik ve biyogaz üretimindeki payı en fazladır (%25.853).
- Ele alınan durumlar içerisinde taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ salınımları değişmektedir ve DURUM III'teki gibi tesisler kurulması durumunda en düşük salınım (54.707 ton CO₂/yıl) gerçekleşmektedir.
- Elektrik üretim maliyeti açısından inceleme yapıldığında ise en iyi durumun kWh başına 0.139 € ile DURUM II olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] H.M. Zabed, S.Akter, J. Yun, G. Zhang, Y. Zhang, X. Qi , (2020). Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities, *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews, **117**, 109503.

- [2] N.K. Salihoğlu, A.Teksoy, K.Altan, (2019). Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi Balıkesir İli Örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **8**, 31-47.
- [3] H.Yağlı, Y.Koç, (2019). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **34**, 3, 35-48.
- [4] S.Achinas, Y.Li, V.Achinas, G.J.W.Euverink, (2018). Influence Of Sheep Manure Addition On Biogas Potential And Methanogenic Communities During Cow Dung Digestion Under Mesophilic Conditions, *Sustainable Environment Research*, **28**, 5, 240-246.
- [5] B.Özer, (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey, *Energy*, **139**, 1144-1152.

- [6] A.Can, (2020). The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, **243**, 118501.
- [7] A.K.P. Meyer, E.A. Ehimen, J.B. Holm-Nielsen, (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production, *Biomass and Bioenergy*, **111**, 154-164.
- [8] T.Fazal, M.Sur Rehman,A. Mushtaq, A.Hafeez, F.Javed, M.Aslam, M.Fatima, A.Faisal, J. Iqbal, F.Rehman, R.Farooq, (2019). Simultaneous production of bioelectricity and biogas from chicken droppings and dairy industry wastewater employing bioelectrochemical system, *Fuel*, **256**, 115902.
- [9] L.Liu, T.Zhang, H.Wan, Y.Chen, X.Wang, G.Yang, G.Ren, (2015). Anaerobic co-digestion of animal manure and wheat straw for optimized biogas production by the addition of magnetite and zeolite, *Energy Conversion and Management*, **97**, 132–139.
- [10] N.I.H.A.Aziz, M.M. Hanafiah, S.H.Gheewala, (2019). A review on life cycle assessment of biogas production:Challenges andfuture perspectives in Malaysia, *Biomass and Bioenergy*, **122**, 361–374.
- [11] J.L. Ramos-Suárez, A. Ritter, J.M. González, A. Camacho Pérez, (2019). Biogas from animal manure: A sustainable energy opportunity in the Canary Islands, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **104**, 137-150.
- [12] S.Weil, H.Zhang, X.Cai, J.Xu, J.Fang, H.Liu, (2014). Psychrophilic anaerobic co-digestion of highland barley straw with two animal manures at high altitude for enhancing biogas production, *Energy Conversion and Management*, **88**, 40–48.
- [13] N.Scarlat, F.Fahl, J.-F. Dallemand, F.Monforti,V.Motola, (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **94**, 915–930.
- [14] A.O.Avcioğlu, U.Turker, (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 3, 1557– 1561.
- [15] M.Öztürk, N.Saba, V.Altay, R.Iqbal, K.R.Hakeem, M.Jawaid, F.H.Ibrahim. (2017). Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **79**, 1285-1302.
- [16] M.Ozcan, S.Oztürk, Y.Oguz, (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey, *Engineering Science and Technology an International Journal*, **18**, 2, 178-184.
- [17] F.Cucchiella, I.D’Adamo, M. Gastaldi, (2019). An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy", *Journal of Cleaner Production*, 888-897.
- [18] K.H. Klavon, S.A. Lansing, W.Mulbry, A.R. Moss, G. Felton, (2013). Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States, *Biomass and Bioenergy*, **54**, 36-45.
- [19] L.A Cruz,L.de Melo, A.N.Leite,J.V. Melquiades Sátiro, L.R.Santos Andrade,N.H.Torres, R.Y.Cabrera Padilla, R.N.Bharagava, R.F.Tavares, I.F.Romanholo Ferreira, (2019). New Approach Using An Open-Source Low Cost System For Monitoring And Controlling Biogas Production From Dairy Wastewater, *Journal of Cleaner Production*, **241**, 118284.
- [20] M.F.Baran, F.Lüle, O.Gökdoğan, (2017). Adıyaman İlinin Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, **4**, 3, 245–249.
- [21] A.P.Bulut, G.T.Canbaz, (2019). Hayvan Atıklarından Sivas İli Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması, *Karaelmas Fen ve Müh. Dergisi*, **9**, 1, 1-10.

- [22] D. Kaya, H.H. Öztürk, (2012). *Biyogaz Teknolojisi*, Umuttepe Yayınları, ISBN :978-605-59-74-7.
- [23] F. Holzleitner, C. Kanzian, K. Stampfer, (2011). Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager, *Eur J Forest Res*, **130**, 293–301.
- [24] M. O. Ofomola, G. E. Akpojotor, (2009). Database of CO₂ Emission In Nigeria: A Preliminary Report, *Proceedings of the Second International Seminar on Theoretical Physics & National Development*, 5-8 July, 2009, Abuja, Nigeria, 267-279.
- [25] <https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi>
- [26] M.S. Genç, (2010). Economic analysis of large-scale wind energy conversion Systems in anatolian Turkey, *Clean Energy Systems and Experiences* ISBN: 978-953-307-147-3.

Kurşunun grafen oksit nanopartikülü ile giderimi ve grafen oksitin geri kazanımı

Removal of Lead with graphene oxide nanoparticle and recovery of graphene oxide

Sevil Akçağlar*

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye
sevil.akcaglar@deu.edu.tr ORCID: 0000-0002-5386-1862, Tel: 02323019236

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 28 Ekim 2019
Düzeltilme: 5 Haziran 2020
Kabul: 26 Haziran 2020

Anahtar kelimeler:

Kurşun giderimi, Grafen Oksit,
Geri kazanım, Yalancı birinci
mertebe kinetik model, Freundlich
izotermi, Adsorpsiyon

ÖZET

Bu çalışmada, Maden Endüstrisi atık sularında bulunan Kurşun'u (Pb) adsorpsiyon prosesiyle gidermek için laboratuvar koşullarında Grafen Oksit (GO) adsorbantı geliştirilmiştir. XRD sonuçlarına göre grafen oksitin yüzeyinde $2\theta=16,88^\circ$ ve $2\theta=44,60^\circ$ ya karşılık gelen şiddet değerleri sırasıyla 004 şiddet birimi ve 106 şiddet birimi olup kristal özelliğindedir. SERS analizlerine göre grafen oksite bağlanmış kurşunun D ve G bantlarındaki maksimum pikleri sırasıyla 1450 ve 1670 cm^{-1} dir. Grafen oksitin BET yüzey alanı 21,3 m^2/g , delik hacmi 3,98 nm olup kurşunun grafen oksit yüzeyine ve iç tabakalarına girişim yaptığı ve yüzeyine tutunduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyonun ise C=C/C-C, C-O, C-OH ve C=O organik halkalarıyla bağlanma sonucu oluştuğu görülmüştür. TEM analizi sonuçları grafen oksitin yüzey katmanlarının adsorpsiyon öncesi katmanlaşmış olduğunu, adsorpsiyon prosesi sonrası ise grafen oksitin küresel partiküller halinde olduğunu göstermiştir. Maximum kurşun adsorpsiyon verimi (% 99,99) için optimum işletme koşulları (grafen oksit konsantrasyonu 1,8 mg/L, sıcaklık=18°C, temas süresi 28 dk, pH=8,5) saptanmıştır. Düşük pH ta H^+ iyonları çok fazla olduğundan düşük adsorpsiyon kapasiteleri oluşmaktadır. Kurşunun grafen oksite adsorpsiyonu düşük sıcaklıkta olmakta, yüksek sıcaklıkta adsorpsiyon bloke edilmektedir. Grafen oksitin Kurşun adsorplama kapasitesi 320 mg/g dir. Adsorpsiyon kinetiği, yalancı birinci mertebe kinetik modele, adsorpsiyon izotermi ise, Freundlich modeline uymaktadır. Grafen oksit çok etkin bir adsorbant olup, 8 kez ardışık kullanımda elde edilen maximum kurşun giderim verimi % 99'dur.

Doi: 10.24012/dumf.639086

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 October 2019
Revised: 5 June 2020
Accepted: 26 June 2020

Keywords:

Pb Removal, Graphene Oxide,
Recovery, Pseudo first order
kinetic model, Freundlich
isotherm, Adsorption

ABSTRACT

In this study, Graphene Oxide (GO) adsorbent has been developed under laboratory conditions to eliminate Lead (Pb) adsorption process in wastewater from Mining Industry. According to XRD results, the intensity values corresponding to $2\theta=16,880$ and $2\theta=44,600$ on the surface of graphene oxide are 004 intensity units and 106 intensity units, respectively, and are crystalline. According to SERS analysis, the maximum peaks of lead connected to graphene oxide in D and G bands are 1450 and 1670 cm^{-1} , respectively. The BET surface area of graphene oxide is 21.3 m^2/g , the hole volume is 3.98 nm and it is observed that lead interferes with the surface and inner layers of graphene oxide. Adsorption was formed by binding with organic rings of C=C/C-C, C-O, C-OH and C=O. The results of TEM analysis showed that graphene oxide's surface layers were stratified before adsorption and graphene oxide was spherical particles after adsorption process. Optimum operating conditions (Graphene oxide concentration 1.8 mg/L, temperature =18°C, contact time 28 min, pH=8.5) were determined for maximum lead adsorption efficiency (99.99%). Low H^+ ions are too low at low pH, resulting in low adsorption capacity. Adsorption of lead to graphene oxide is at low temperature and adsorption at high temperature is blocked. The maximum adsorption capacity of lead is 320 mg/g, adsorption kinetics and isotherm are pseudo first order kinetic model and Freundlich isotherm, respectively. Graphene oxide is a very effective adsorbent, the maximum lead yield obtained in 8 consecutive use is 99%.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Sevil AKÇAĞLAR
✉ sevil.akcaglar@deu.edu.tr

Please cite this article in press as S. Akçağlar "Kurşunun grafen oksit nanopartikülü ile giderimi ve grafen oksitin geri kazanımı", DUJE, vol. 11, no.3, pp. 1187-1196, September 2020.

Giriş

Ağır metaller, yüzey sularında ve yer altı sularında, ekosistemde toksik etkilere neden olup doğada birikebilirler Peng vd. [1]. Maden, elektrot üretimi, rafineri endüstrisi gibi, Kurşun (Pb) da yer altı sularına ve içme sularına karışabilmektedir. Dünya sağlık teşkilatına göre, içme suyunda maximum izin verilebilir Pb konsantrasyonu 0,08 mg/L den düşük olmalıdır Lim vd. [2]. Kurşun giderim yöntemleri adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, elektrokimyasal arıtma, filtrasyon, iyon değişimi, yükseltgenme, indirgenme reaksiyonlarıdır Zou vd. [3], Li vd. [4], Zhao vd. [5]. Yapılan çalışmalarda adsorpsiyon ile kurşun giderimlerinde, kil mineralleri Li vd. [4] karbon nano tüpleri Saleh ve Gupta [6], organik reçineler Bhatti vd. [7], sıfır değerlikli iyonlar ve aktif karbon Zou vd. [3] kullanılmaktadır. Ancak bu kullanılan adsorbanların bazı dezavantajları bulunmaktadır. (i) Termal ve kimyasal kararlılıkları çok düşüktür. (ii) Seçicilik ve adsorpsiyon kapasiteleri çok düşüktür. (iii) Rejenerasyonları ve geri kazanımları çok zayıftır. (iv) Partiküllerindeki gözenek hacimleri ve yüzey alanları çok küçüktür. (v) Üretimleri ve hazırlanmaları çok zordur. Kurşun gidermek için kullanılacak adsorbanların yüksek gözenek hacmine, geniş yüzey alanına sahip olmaları, düşük maliyetli olmaları ve laboratuvar koşullarında kolay sentez edilebilmeleri ve de arıtmada kullanıldıktan sonra tekrar geri kazanılarak yeniden adsorpsiyon olayında kullanılabilmesi gerekmektedir Jun vd. [8]. Grafen oksit (GO), grafenin oksitlenmiş tek tabakalı oksijen bazlı fonksiyonel bir grubu olup kimyasal oksidasyonla grafenin hidroksil ve karboksilik asit gruplarıyla birleşmesi sonucu oluşur Dreyer vd. [9], Ramesha vd. [10]. Grafen oksit, geniş yüzey alanı ve yüksek adsorpsiyon alanı kapasitesi ve kimyasal reaksiyonlara karşı kararlılığı ile arsenik Mishra ve Ramaprabhu [11], çinko Wang vd. [12] ve manganezin Zhao vd. [13] adsorpsiyon kapasitelerinin saptanmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; bir ham maden endüstrisi atık sularındaki Pb'un laboratuvar koşullarında geliştirilen GO ile adsorpsiyonunu incelemek,

adsorpsiyon sırasında GO'in yüzeyel özelliklerindeki değişimleri görmek için, X-ışını Difraksiyon (XRD), Geliştirilmiş Yüzey Raman Saçılması (SERS), Brunauer – Emmett – Teller (BET), Elektron İletim Mikroskobu (TEM), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizleri yapılmış, artan GO konsantrasyonlarının adsorpsiyon verimine, artan sıcaklığın ve pH'ın Pb'un adsorpsiyon verimine etkisini incelemektir. Ayrıca Pb'un GO'e adsorpsiyon kinetikleri ve adsorpsiyon izotermi incelenmiştir.

Materyal ve Metodlar

GO in laboratuvar koşullarında üretimi:

GO, grafen tozunun kullanılmasıyla Hummers metoduna göre laboratuvar koşullarında geliştirilmiştir Li ve Wu [14]. GO tozu İzdelta Firması aracılığıyla Merck Firmasından tedarik edilmiştir. 0,8 g GO tozu 1200 mL deiyonize saf su içinde mekanik karıştırıcıda karıştırılarak dağıtılmıştır. 45 dk 1,2 kHz frekanslı sonikatörde tutulmuştur. Daha sonra 80 °C lik bir su banyosunda bekletilmiştir. 0,45 µ por çaplı selüloz asetat membran filtreden geçirilerek üç kez arka arkaya önce etanol sonrada deiyonize safsu ile yıkanarak geliştirilmiştir.

GO' in, yüzeyinin karakterizasyonlarının yapılması:

Grafen oksit kristallenmesi, K α radyasyonu ve 0.04 s⁻¹ de PRO model cihazın tarama hızı ile X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile araştırılmıştır. Raman ölçümleri; yüzeyi arttırılmış Raman saçılması (SERS, Thermo Fisher) ile yapılmıştır. Grafen Oksit Nanokompozit'in spesifik yüzey alanı ve gözenek büyüklüğü dağılımı, 89 K'de N₂ adsorpsiyon-desorpsiyon testleri ile sağlanmıştır. Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey alanı; Quantachrome Autosorb-1 cihazı ve mikrometrik ASAP 2020 ekipmanı kullanılarak 15 saat ile 30 saat arasında grafen oksitin 120 °C de tutulması ve gazın alınması (TrGO 300 °C) metodu ile ölçülmüştür. Bu yöntemde nem ve atmosferik gazların numunenin ısıtılması sonra da sıcaklığın düşürülerek sıvı azot gazının adsorbe edilmesi esasına dayanır. BET izotermi;

örneğin toplam yüzey alanını saptamak için adsorbe edilen gazın basınç altındaki ortama nüfuzu ile saptanır. Spesifik yüzey alanı Johner –Halendo (JH9) toplam yüzey alanının örnek ağırlığına bölünmesi ile elde edilir. BET- Barret –Johner –Halendo (BJH) metodu örneklerde Quantachrome NOVA 2000e (USA) hacimsel gaz adsorpsiyon cihazı ve N₂ gazı kullanılarak adsorbe olan N₂ miktarı ile por büyüklüğü ölçülür. Çalışmalar, 77.3 K sıcaklıkta ve P/P₀ ~ 0.95 basınçta gerçekleştirilir. 8 saatte düşen basınç altında 100 °C ‘de por büyüklüğü ölçülür Ashtiani [15].

Nano bileşenlerinin Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri, 200 kV hızlanma voltajında çalıştırılan bir Tecnai G2 F20 cihazında elde edilmiştir. X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS, Kratos AXIS), adsorbe edilen malzemenin grafen oksit üzerindeki durumunu tespit etmek için kullanılmış; yüksek çözünürlüklü Cu 2p_{3/2} pikte (XPS-pik4.1) çalışılmıştır.

Adsorpsiyon çalışmaları

Maden endüstrisi atıksularından alınan numunelerde farklı zamanlarda ölçülen ve değişik konsantrasyonlar da Pb (5 mg/L, 15, 22, 37, 42, 80 ve 96 mg/L) içeren atık suya 0,1 mg/L; 0,5; 0,9; 1,2; 1,8; 2,5; 3; 4; 8 ve 10 mg/L GO her örneğe ayrı ayrı eklenerek farklı sıcaklıklarda (21 °C, 30, 45 ve 65 °C) ve değişik pH’larda (4,5; 7 ve 9,3) adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışılan maden endüstrisi, metal işletme endüstrisi olup, orijinal atık suyun kurşun konsantrasyonu 2 ile 35 mg/L arasında değişmektedir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) ve kimyasal oksijen ihtiyacı KOİ konsantrasyonları sırasıyla 20 ve 60 mg/L dir. Kadmiyum (Cd), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) konsantrasyonları sırasıyla 3 mg/L, 10 mg/L ve 5 mg/L dir. Askıda katkı madde (AKM) ve yağ-gres konsantrasyonları ise sırasıyla 60 ve 10 mg/L dir.

Analitik yöntemler

Pb ölçümü

Pb atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile 284,6 nm dalga boyunda 6 mA lik bir lamba kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan atomik absorpsiyon spektrofotometresinin markası Thermo-scientific IC 3500 (USA) dır.

Adsorpsiyon izotermelerinin saptanması

Langmuir İzotermi

Kararlı hal koşullarında adsorpsiyonu modellemek için en yaygın kullanılan izoterm denklemleri, sonlu sayıda benzer sitelerin bir yüzeye, tek tabakalı sorpsiyonu için geçerli olan Langmuir denklemidir (Denklem (1)) Aksu ve Gonen [16].

$$q_e = Q_o b C_e / (1 + b C_e) \quad (1)$$

Denklem (1) genellikle Denklem 2’yi elde etmek için doğrusallaştırılır.

$$C_e / q_e = (C_e / Q_o) + (1 / b Q_o) \quad (2)$$

C_e: denge konsantrasyonu (mg/L), q_e: yüksek C_e’de bağlanan yüzey üzerinde tek bir tabaka oluşturmak için birim adsorban başına kirleticinin miktarı, b: bağlanma afinitesine bağlı bir sabittir. Q_o, adsorban yüzeyi tamamen kirletici ile kaplandığında adsorpsiyon performansının kapasitesini temsil eder. C_e/q_e ye karşı C_e’in lineer çiziminden Q_o ve b belirlenebilir Aksu ve Gonen [16].

Freundlich İzotermi

Adsorpsiyon deneylerini karakterize etmek için Freundlich modeli yaygın olarak benimsenmiştir Aksu ve Gonen [16], Hasar [17], Malkoc ve Nuhoglu [18], Pardo vd. [19]. Bu model, metal iyonlarının alımının heterojen bir adsorban yüzeyinde meydana geldiğini varsaymaktadır Hasar [17]. Freundlich denklemi, Denklem (3) ile verilir.

$$q_e = X / m = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

Buradaki K_F ve n parametreleri, denklem 3’ün lineer formu kullanılarak elde edilebilir (Denklem 4).

$$\log (X / m) = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (4)$$

X, adsorbe edilen metal iyonunun miktarı, m, kullanılan biyokütle ağırlığı, K_F ve n, sistemde

karakteristik Freundlich sabitleridir ve C_e , çözeltilerdeki kalan kirletici konsantrasyonudur.

Adsorpsiyon kinetiklerinin saptanması

Yalancı birinci ve ikinci merteye kinetik model

Adsorpsiyon mekanizmasını anlamak için, yalancı birinci merteye kinetik model ve yalancı ikinci merteye kinetik model denklemleri ifade edilmiştir (Denklem 5 ve 6).

Yalancı birinci merteye kinetik model:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5)$$

Yalancı ikinci merteye kinetik model:

$$t/q_t = (1/k_2 q_e^2 + t/q_e) \quad (6)$$

Burada q_t ve q_e kirleticinin t zamanındaki adsorpsiyon miktarıdır (mg/g). Kararlı hal koşullarında k_1 , yalancı birinci merteye kinetik sabiti, k_2 , yalancı ikinci merteye kinetik sabiti, R^2 , deneysel verilerin uygunluğunu ölçmek için kinetik modellerde kullanılan standart korelasyon katsayısı olup, 1'e yakın olmalıdır. Zhang vd. [20].

Elovich kinetik model

Elovich adsorpsiyon sistemi için, adsorpsiyon işleminde en uzun zaman t_{ref} ise ve q_{ref} $t=t_{ref}$ zamanında katı faz konsantrasyonu olursa, Denklem (7) ve (8) yazılabilir.

$$q_{ref} = (1/b) \ln(ab) + (1/b) \ln t_{ref} \quad (7)$$

$$(q_t - q_{ref}) = (1/b) \ln(t / t_{ref}) \quad (8)$$

Denklemin her iki tarafını q_{ref} verimleri ile bölersek,

$$(q_t / q_{ref}) = (1 / q_{ref}^b) \ln(t / t_{ref}) + 1 \quad (9)$$

Denklem (9) boyutsuz Elovich denklemi olarak adlandırılır. Elovich denkleminin denge faktörüne yaklaşırken $R_E = 1 / (q_{ref}^b)$ olarak tanımlanır. Bu 9. denklem tekrar düzenlenirse Denklem (10) elde edilir Wu vd. [21].

$$(q_t / q_{ref}) = R_E \ln(t / t_{ref}) + 1 \quad (10)$$

Parçacık içi difüzyon kinetik modeli

Sorpsiyon işleminde difüzyonun önemini belirlemek için, adsorbe edilen kirletici miktarı (q) ile zamanın karekökü ($t^{0.5}$) arasında çizilen grafik için regresyon analizi yapılmıştır Weber ve Morris [22]. Modelin matematiksel ifadesi Denklem (11) ile verilir.

$$q = k_1 t^{0.5} \quad (11)$$

Burada q , adsorbe edilen kirletici miktarı (mmol/g), k_1 , partikül içi difüzyon hızı sabitidir (mmol/g min^{0.5}) ve I , herhangi bir deney için yakalayıcıdır. $t^{0.5}$ e karşı q grafiği, dış kütle transferi, parçacık içi difüzyon ve işlemin doygunluğunu temsil eden üç lineer bölgeye sahip olmalıdır Kumar ve Gaur [23].

GO in geri kazanımı

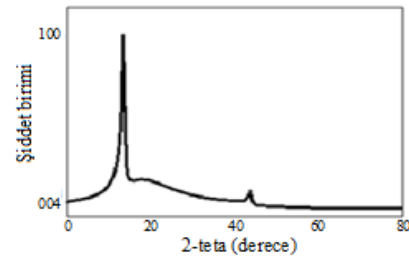
1.8 mg/L GO'ya adsorbe olmuş 45 mg/L Pb önce 100 °C'de etüvde 6 saat tutularak kurutulur. Daha sonra farklı Ph aralıklarında deiyonize saf suya bırakılarak 3 saat süre ile bir karıştırıcıda tutularak dağılması sağlanır. Daha sonra Pb konsantrasyonları ölçülerek GO'nun desorpsiyon kapasitesi saptanır.

Sonuçlar

GO yüzeyinin Fizikokimyasal özellikleri

X-ışını Difraksiyon (XRD) analiz sonuçları

XRD analizleri GO'in yapısını ve adsorpsiyon sırasındaki safhalarda saflığını araştırmak üzere yapılmıştır. Şekil 1'de GO'in 6 adet kristal yapısının 6 adet pik ile ifade edildiğini göstermiştir. $2\Theta=16,88^\circ$ ve $2\Theta=44,60^\circ$ değerlerinde dik ayrıştırma pikleri olup, (004 şiddet birimi) ve (106 şiddet birimi) şiddetlerinde kristal özellikte olduğu saptanmıştır. Bu değerler Sitko vd. [24], tarafından yapılan çalışmalar ile özdeşleşmektedir. 004 şiddet birimi'ndeki düzlem içi boşluklar iç tabakalara mesafesi yaklaşık 7 Å olan literatürde belirtilen gruplarla uygunluk göstermektedir Jun vd. [8].

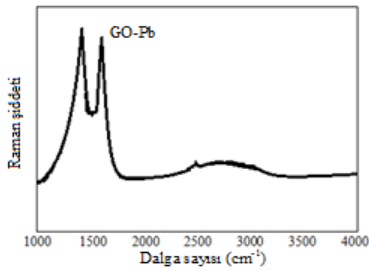


Şekil 1. GO'e ait XRD analiz sonuçları

Figure 1. XRD analysis results of GO

Geliştirilmiş Yüzeysel Raman Saçılması (SERS) analiz sonuçları

D ve G bantlarındaki şiddet oranı ($r=I_D/I_G$) GO partikülündeki karbon oranını değerlendirmek için kullanılır. I_D/I_G nin artması GO içeren örneklerde bir düzensizliğe neden olmaktadır. Pb ile birleşmiş GO (GO-Pb) in D ve G bantlarındaki pikleri 1450 ve 1670 cm^{-1} dedir (Şekil 2). Bu konumda I_D/I_G oranı 1,08 olup GO tek başına olduğunda ölçülen I_D/I_G (0,89) değerinden büyüktür. Bu, GO' e Pb adsorbe olduktan sonra GO' in agregat haline dönüşmesi ile açıklanabilir. Aynı sonuçlar Zhang vd. [20] tarafından da teyit edilmiştir.

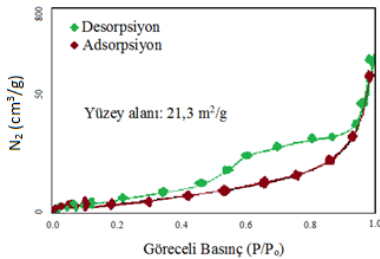


Şekil 2. GO-Pb'un D ve G bantlarındaki pikleri

Figure 2. The peaks of GO-Pb in D and G bands

Brunauer–Emmett–Teller (BET) analiz sonuçları

GO'in BET yüzey alanı 21,3 m^2/g olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Barret-joyner'in tanımladığı yöntemle göre GO'in hesaplanmış toplam gözenek hacmi 3,98 nm^3 dir. GO'in bu gözenek çapları Jun vd. [8] ile Alqadami vd. [25]'nin yaptığı çalışmalarda buldukları yüzey alanı gözenek çapı ve gözenek hacimlerinden biraz daha büyüktür.

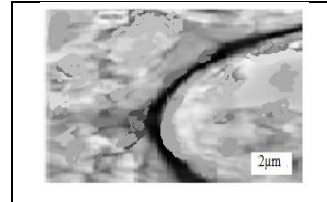


Şekil 3. Grafen oksitin azot adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi

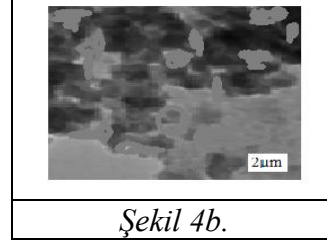
Figure 3. Nitrogen adsorption-desorption isotherm of graphene oxide

Elektron İletim Mikroskobu (TEM) analiz sonuçları

Şekil 4a'da GO'in adsorpsiyon öncesi TEM resimleri gösterilmektedir. Şekil 4a'da GO'in yüzey katmanlarının buruşmuş olduğu ve Van der Waals kuvvetleri nedeniyle adsorpsiyon öncesi katmanlaşmış bir yapıya sahip olduğu gösterilmiştir. Adsorpsiyon sonrası GO'in küresel partiküller halinde olduğu Pb'un GO yüzeyine ve iç tabakalarına girişim yaptığı ve yüzeyine tutunduğu gözlenmektedir (Şekil 4b).



Şekil 4a.



Şekil 4b.

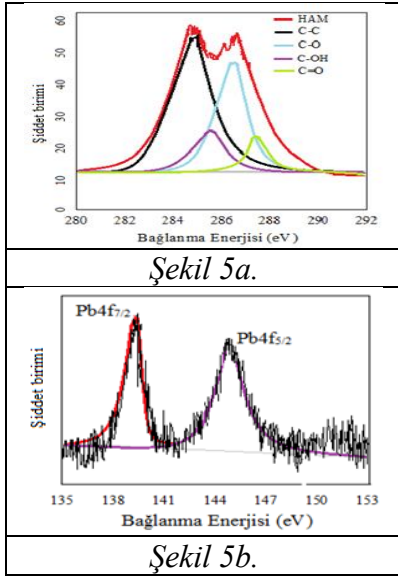
Şekil 4. GO'e ait yüzey katmanlarına bağlı adsorpsiyon (a); Pb'un GO'in dış yüzeyine ve iç tabakalarına bağlı adsorpsiyonu (b)

Figure 4. Adsorption due to the surface layers of GO (a); Adsorption of Pb depending on the outer surface and inner layers of GO (b)

X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analiz sonuçları

Şekil 5a'da GO'in yüzeyinde 290.1 eV, 292.8 eV, 293.1 eV ve 296.5 eV piklerinin C=C/C-C, C-O, C-OH ve C=O organik halkalarıyla ilişkilendirilebileceği gözlenmektedir. Şekil 5b'de adsorpsiyon sonrası sonucu 140,1 eV de ve 146,9 eV de iki farklı karakteristik pik gözlenmiştir. Bunlardan birincisi Pb 4f_{7/2} ikincisi de 4f_{5/2} olup Pb'un GO yüzeyine Zhang vd.

[26]'nin belirttiği gibi kimyasal bağlanma ile bağlandığını göstermektedir.



Şekil 5. XPS analizinde GO'nin yüzeyindeki bağlı guruplar (a); XPS analizinde Pb 4f_{7/2} ve Pb4f_{5/2} bağlı piklerin gösterimi (b)

Figure 5. Connected groups on the surface of GO in XPS analysis (a); Pb 4f_{7/2} and Pb4f_{5/2} linked peaks in XPS analysis (b)

Artan GO konsantrasyonlarının Pb'un adsorpsiyon giderim verimine etkisi

Öncelikli olarak yapılan çalışmalarda 30 dk adsorpsiyon süresinin maximum adsorpsiyon verimi için optimum temas süresi olarak saptanmıştır (Tablo 1). Ham maden endüstrisinden alınan atık suda ortalama Pb konsantrasyonu 43-45 mg/L olduğunda GO konsantrasyonları 0,1mg/L den 0,5; 0,9; 1,2; 1,8; 2,5; 3; 4; 8 ve 10 mg/L ye çıkarıldığında maximum Pb adsorpsiyon verimi (% 99) için optimum GO konsantrasyonu 1,8 mg/L olarak bulunmuştur. GO dozu attıkça adsorpsiyon veriminin değişmediği % 99 olarak kaldığı saptanmıştır. Bunun nedeni yüksek GO konsantrasyonlarında, Pb'a bağlanacak GO'in adsorpsiyon yüzeylerinin boş kalmasıdır. Adsorban konsantrasyonunun artırılmasının amacı, artan adsorbanın kurşun giderme verimini olumsuz etkileyip etkilemediğini saptamaktır. Adsorpsiyon dengeye geldiğinde atık suda bulunan tüm Pb 1,8 mg/L GO'e bağlandıktan

sonra geriye kalan yüksek GO'in (örneğin 10 mg/L GO olduğunda sadece 1,8 mg/L si 45 mg/L Pb'u bağlamaktadır) bağlayacağı Pb ortamda bulunmamaktadır.

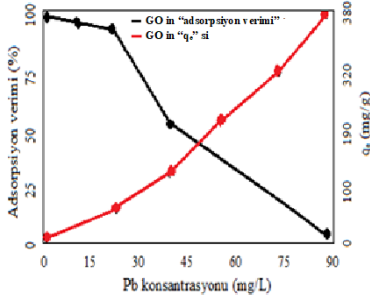
Tablo 1. Artan GO konsantrasyonlarının Pb adsorpsiyon giderme verimine etkileri

Table 1. Effects of increased GO concentrations on Pb adsorption removal efficiency

Pb konsant rasyonu (mg/L)	GO konsantrasyon ları (mg/L)	Pb adsorpsi yon verimi %
42	0,1	68,00
44	0,5	78,00
43	0,9	90,00
42	1,2	96,00
45	1,8	99,99
43	2,5	99,00
42	3,0	99,00
43	4,0	99,00
45	8,0	99,00
43	10,0	99,00

Maden endüstrisi atık suyunda artan Pb konsantrasyonunun Pb adsorpsiyon verimine etkisi

Maden endüstrisi atık suyundan değişik zaman aralıklarında alınan numunelerde farklı konsantrasyonlarda Pb saptanmıştır (5 mg/L, 15, 22, 37, 42, 80 ve 96 mg/L). Optimum GO dozu 1,8 mg/L olarak alındığında adsorpsiyon verimleri Şekil 6'da verilmektedir. 5 mg/L, 15, 22 ve 37 mg/L Pb konsantrasyonlarında, GO'in maximum adsorpsiyon kapasitesi (q_e) 320 mg/g olup buna tekabül eden adsorpsiyon giderme verimi % 100 dür. Kurşun konsantrasyonu 5 mg/L, 15 ve 22 mg/L olduğunda maximum q_e 300-330 mg/g arasında değişmektedir. Pb konsantrasyonu > 45 mg/L olduğunda q_e 190 mg/g a düşmektedir. Düşük Pb konsantrasyonlarında yüksek q_e değeri Pb'u gidermek için mevcut GO'e yeterli miktarda adsorpsiyon aktif yüzey alanlarının bulunmasıdır.

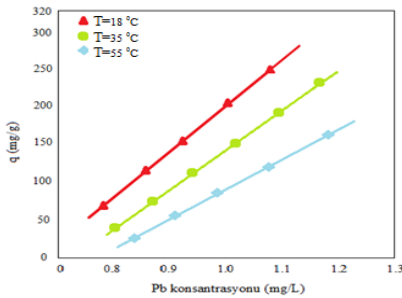


Şekil 6. Gerçek Maden Endüstrisi atık suyunda artan Pb konsantrasyonlarının adsorpsiyon verimine ve adsorpsiyon kapasitesine etkisi

Figure 6. The effect of increasing Pb concentrations on adsorption efficiency and adsorption capacity in the real mine industry wastewater

Sıcaklığın Pb'un adsorpsiyon verimine etkisi:

Şekil 7, farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermelerini göstermektedir. Pb'un adsorpsiyonu, sıcaklıktaki artışla azalır. T=18°C deki adsorpsiyon izotermi, diğer iki izoterminden daha yüksektir, oysa T=55°C deki adsorpsiyon izotermi en düşüktür. Sonuçlar GO üzerinde Pb adsorpsiyonunun düşük sıcaklıkta tercih edildiğini ve yüksek sıcaklıkta bloke edildiğini göstermektedir Xu vd. [27]. Bu durum, sıcaklığın düşük olduğu kış ve sonbahar mevsimlerinde de maden işleme endüstrisi atıksularındaki Pb' un verimli bir şekilde giderilebileceğini, adsorpsiyon için ilave bir ısıtmaya ve masrafa gerek duyulmadan ekonomik bir yöntemle atıksudan uzaklaştırılabileceğini göstermektedir.



Şekil 7. Sıcaklığın Pb'un GO'e adsorpsiyonunun etkisi

Figure 7. The effect of temperature adsorption of Pb on GO

pH'in Pb'un adsorpsiyon verimine etkisi:

Maden endüstrisi atık suyunun pH'ı 4,5 olup pH etkisinin Pb'un adsorpsiyonuna etkisini incelemek için pH 7,0 ve 9,3 e ayarlanmıştır. Bu aşamadaki çalışmada optimum GO konsantrasyonu 1,8 mg/L ve adsorpsiyon temas süresi 28 dk olarak alınmıştır. Asidik pH'ta Pb giderme verimi % 60 olarak saptanmış olup nötral ve alkali pH' ta Pb adsorpsiyon veriminin sırasıyla % 80 ve % 98 olduğu saptanmıştır (Tablo 2). pH GO'in yüzeysel yükünü değiştirdiğinden ve pH 7 ile 10 arasında Pb; Pb(OH₂) çöktüğünden Pb'un q_e değerleri ve adsorpsiyon verimleri değişmektedir. Düşük pH ta H⁺ iyonları çok fazla olduğundan düşük adsorpsiyon kapasiteleri oluşmaktadır. Bunun nedeni H⁺ ile Pb arasındaki yarışmadır. Yüksek pH' larda ise OH ve COOH konsantrasyonları baskın olduğundan dolayı GO; H⁺ iyonlarını ortama salmaktadır. Bu durum GO yüzeyinin negatifleşmesine neden olmaktadır. Negatif yüzeysel yüklü GO ile pozitif elektriksel yüklü Pb kuvvetle bir araya gelerek kompleksleşmekte ve Pb'un adsorpsiyon kapasitesi artmaktadır. Diğer bir deyişle adsorpsiyon; GO yüzeyinde Pb ve karboksilik gruplar arasında şelat kompleksler oluşumu ile artmaktadır Kumar vd. [28].

Tablo 2. Asidik, bazik ve nötral Ph'in Pb'un adsorpsiyon verimine etkisi

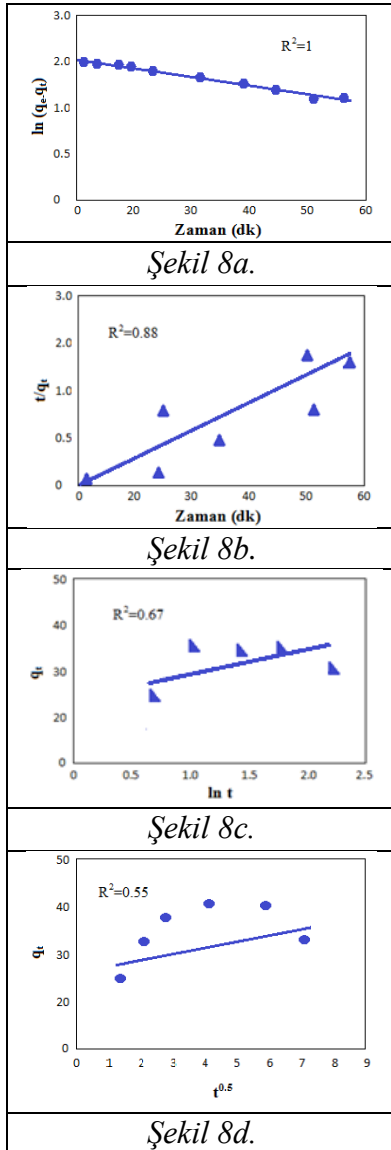
Table 2. Effect of acidic, basic and neutral Ph on adsorption efficiency of Pb

Pb konsantrasyonu (mg/L)	pH	Pb adsorpsiyon verimi %
42	4,5	60
44	7,0	80
43	9,3	99

Adsorpsiyon kinetik çalışmaları

Yalancı birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe, Elovich, Partikül İçi Adsorpsiyon Kinetik Modelleri çalışılarak Pb'un adsorpsiyon kinetiği ortaya çıkarılmıştır. 45 mg/L Pb ile 1,8 mg/L GO

kullanılarak 18°C de adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Maden endüstrisi atıksuyunda bulunan Pb'un yalancı birinci merteye adsorpsiyon kinetiğine göre adsorbe edildiği saptanmıştır (Şekil 8a.; 8b.; 8c. ve 8d.). Bu kinetiklerde zamana karşı GO'ye adsorbe edilen Pb konsantrasyonlarının (q_e veya q_t) değişimi saptanmıştır. Bu modele göre belli bir optimum GO konsantrasyonuna ve optimum süreye kadar, Pb adsorpsiyonu artmakta daha sonra adsorpsiyon verimi azalmaktadır.



Şekil 8a.

Şekil 8b.

Şekil 8c.

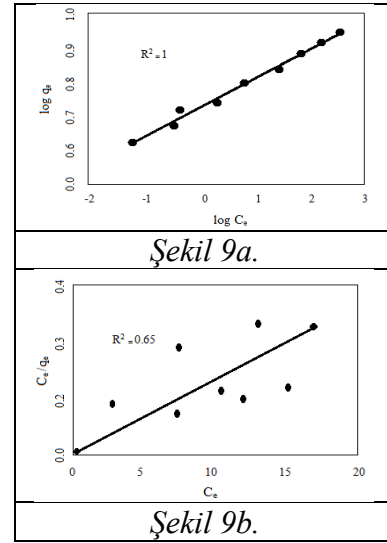
Şekil 8d.

Şekil 8. Pb'un GO'ye yalancı birinci merteye (a); Pb'un GO'ye yalancı ikinci merteye (b); Pb'un GO'ye Elovich (c); Pb'un GO'ye partikül içi adsorpsiyon kinetikleri (d)

Figure 8. Pb's pseudo-first-order to GO (a); Pb's pseudo-second-order to GO (b); Pb's Elovich to GO (c); Intra-particle of Pb to GO adsorption kinetics (d)

Pb'un adsorption izotermi

Pb'un GO'ye adsorpsiyonunun Freundlich izotermi ile tanımlanabileceği saptanmıştır ($R^2=1$, $k=3 \text{ dk}^{-1}$). Pb adsorpsiyon izotermi Langmuir'e uymadığı saptanmıştır ($R^2=0,65$, $k=0,009 \text{ dk}^{-1}$) (Şekil 9a ve 9b).



Şekil 9a.

Şekil 9b.

Şekil 9. Pb'un Freundlich Adsorpsiyon İzotermi (a); Pb'un Langmuir Adsorpsiyon İzotermi (b)

Figure 9. Freundlich Adsorption Isotherm of Pb (a); Langmuir Adsorption Isotherm of Pb (b)

GO'in geri kazanımı ve tekrar kullanımı

Optimum işletme parametrelerinde (45 mg/L Pb 25 dk temas süresi, 1,8 mg/L GO, pH 8,0, sıcaklık 18°C) adsorpsiyon çalışmaları ardışık 8 kez tekrar edilmiş ve adsorpsiyon verimleri incelenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Optimum işletme parametrelerinde GO'nin geri kazanılabilirlik çalışmaları**Table 3.** GO recyclability studies in optimum operating parameters

Ardışık adsorpsiyon aşamaları	Adsorpsiyon çıkışı konsantrasyonları (mg/L)	Pb adsorpsiyon verimi %
1	0,10	99,7
2	0,14	99,6
3	0,17	99,6
4	0,19	99,5
5	0,25	99,4
6	0,27	99,4
7	0,30	99,3
8	0,38	99,1

GO 8 kez ardışık adsorpsiyonda kullanılmasına rağmen % 99 Pb giderme verimi elde edilmiştir. Böylece, GO defalarca geri kazanılarak Pb'un yüksek verimlerle adsorbe etmede kullanılabilirliğini göstermektedir. Pb desorpsiyon verimi pH = 8.0 de yüksek olup (% 97) pH'in düşmesi ile (pH=4) Pb desorpsiyon verimi azalmaktadır (% 45) (datalar verilmemiştir). Bu durum da GO'nin kolaylıkla desorbe olduğunu, iyon değişimi ile Pb un GO yüzeyinden ayrıldığı saptanmıştır. GO 50 kez kullanıldıktan sonra bile Pb giderme verimi % 80 olarak saptanmıştır (datalar verilmemiştir). Bu da, GO in maden endüstrisi atıksularından Pb gidermede çok etken bir adsorban olduğunu yüksek verimlerde geri kazanılabilirliğini göstermiştir. Bu durum Pb un gidermek için kullanılan adsorpsiyon prosesinin maliyetini minimize etmektedir.

Sonuç

Bu çalışma, Ham Maden Endüstrisi atık suyunda bulunan Pb'un, laboratuvar koşullarında hazırlanan Grafen Oksit (GO) adsorbenti kullanılarak adsorpsiyon işlemi ile, etkin bir şekilde giderilebileceğini göstermiştir. XRD analiz sonuçlarına göre GO'nin 004 ve 106 şiddet biriminde iki adet pikinin ve kristal yapısının olduğu saptanmıştır. SERS analizlerine bağlı olarak, Pb'un GO ile kompozit oluşturulmuştur. D ve G bantlarındaki maksimum 1450 ve 1670

cm⁻¹ dir. Pb GO'e adsorbe olduktan sonra kümeler halinde çökmüştür. BET analizine bağlı olarak GO'nin yüzey alanı 21,3 m²/g olarak hesaplanmış olup diğer yapılan çalışmalara kıyasla daha büyük olduğu saptanmıştır. TEM analiz sonuçlarına göre Pb GO'nin yüzey katmanlarına bağlı olduğu gibi dış yüzeyine de bağlanmış olduğu saptanmıştır. XPS analizine göre GO'nin yüzeyinde C-C, C-O, C-OH ve C=O gruplarının olduğu saptanmıştır. Maden atık suyunda 43-45 mg/L arasında bulunan Pb, GO konsantrasyonu 1,8 mg/L ve pH 9,3 olduğunda 18°C de % 99,99 maksimum verimle giderilmiştir. GO'nin maksimum adsorpsiyon kapasitesi 320 mg/g dır. Uygulanan kinetikler arasından kurşunun birinci mertebeye adsorpsiyon kinetiğine göre giderildiği ve bu adsorpsiyonun Freundlich İzotermi ile tanımlanabileceği gösterilmiştir. Aynı GO adsorbenti arka arkaya 8 kez kullanıldıktan sonra 44 mg/L Pb'u giderme verimi % 99,10 dur.

Kaynaklar

- [1] Peng, W., Li, H., Liu, Y., Song, S., (2017). A review on heavy metal ions adsorption from water by graphene oxide and its composites, *J. Mol. Liq.*, 230, 496-504.
- [2] Lim, J.Y., Mubarak, N.M., Abdullah, E.C., Nizamuddin, S., Khalid, M., (2018). Recent trends in the synthesis of graphene and graphene anomaterials for removal of heavy metals, *J. Ind. Eng. Chem.*, 66, 29-44.
- [3] Zou, Y.D., Wang, X.X., Khan, A., Wang, P.Y., Liu, Y.H., Alsaedi, A., Hayat, T., Wang, X.K., (2016). Environmental remediation and application of nanoscale zerovalent iron and its composites for the removal of heavy metal ions, *Environ. Sci. Technol.*, 50, 7290-7304.
- [4] Li, J., Wang, X.X., Zhao, G.X., Chen, C.L., Chai, Z.F., Alsaedi, A., Hayatf, T., Wang, X.K., (2018). Metal-organic framework-based materials: superior adsorbents for the capture of toxic and radioactive metal ions, *Chem. Soc. Rev.*, 47, 2322-2356.
- [5] Zhao, G.X., Huang, X.B., Tang, Z.W., Huang, Q.F., Niu, F.L., Wang, X.K., (2018). Polymer-based nanocomposites for heavy metal ions removal from aqueous solution, *Polym. Chem.*, 9, 3562-3582.
- [6] Saleh, T.A. & Gupta, V.K., 2012. "Column with CNT/magnesium oxide composite for lead (II) removal from water", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 19 (4), 1224-1228.
- [7] Bhatti, A.A., Memon, S., Memon, N., (2014). Dichromate extraction by calix [4] arene appended

- amberlite XAD-4 resin, *Separ. Sci. Technol.*, 49 (5), 664-672.
- [8] Jun, B.M., Kim, S., Kim, Y., Her, N., Heo, J., Han, J., Jang, M., Park, C.M., Yoon, Y., (2019). Comprehensive evaluation on removal of lead by graphene oxide and metal organic Framework, *Chemosphere*, 231, 82-92.
- [9] Dreyer, D.R., Park, S., Bielawski, C.W., Ruoff R.S., (2010). The chemistry of graphene oxide, *Chem. Soc. Rev.*, 39 (1), 228-240.
- [10] Ramesha, G.K., Kumara, A. V., Muralidhara, H.B., Sampath, S., (2011). Graphene and graphene oxide as effective adsorbents toward anionic and cationic dyes, *J. Colloid Interface Sci.*, 361 (1), 270-277.
- [11] Mishra, A.K. & Ramaprabhu, S., (2011). Functionalized graphene sheets for arsenic removal and desalination of sea water, *Desalination*, 282, 39-45.
- [12] Wang, H., Yuan, X., Wu, Y., Huang, H., Zeng, G., Liu, Y., Wang, X., Lin, N., Qi, Y., (2013). Adsorption characteristics and behaviors of graphene oxide for Zn (II) removal from aqueous solution, *Appl. Surf. Sci.*, 279, 432-440.
- [13] Zhao, G., Ren, X., Gao, X., Tan, X., Li, J., Chen, C., Huang, Y., Wang, X., (2011). Removal of Pb(II) ions from aqueous solutions on few-layered graphene oxide nanosheets, *Dalton Trans.*, 40 (41), 10945-10952.
- [14] Li, Y.G. & Wu, Y.Y., (2009). Coassembly of graphene oxide and nanowires for large-area nanowire alignment, *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 5851-5857.
- [15] Ashtiani, M. H., (2011). Characterization of Nano-Porous Bentonite (Montmorillonite) Particles using FTIR and BET-BJH Analyses, *Part. Syst. Charact.*, 28, 71-76.
- [16] Aksu, Z. & Gonen, F., (2004). Adsorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves, *Process Biochem.*, 39, 599-613.
- [17] Hasar, H., (2003). Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk, *J. Hazard. Mater.*, 97 (1-3), 49-57.
- [18] Malkoc, E. & Nuhoglu, Y., (2003). The removal of chromium (VI) from synthetic wastewater by *Ulothrix zonata*, *Fresenius Environ. Bull.*, 12 (4), 376-381.
- [19] Pardo, R., Herguedas, M., Barrado, E., (2003). Adsorption of cadmium, copper, lead and zinc by inactive biomass of *Pseudomonas putida*, *Anal. Bioanal. Chem.*, 376, 26-32.
- [20] Zhang, J., Xie, X., Liang, C., Zhu, W., Men, X., (2019). Characteristics and mechanism of Pb (II) adsorption/desorption on GO/ r-GO under sulfide-reducing conditions, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 73, 233-240.
- [21] Wu, F.C., Tseng, R.L., Juang R.S., (2009). Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosansystems, *Chemical Engineering Journal*, 150, 366-373.
- [22] Weber, W.J., & Morris, J.C., (1963). Kinetics of adsorption on carbon solution, *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civil Eng.*, 89, 31-59.
- [23] Kumar, D.J., & Gaur, J.P., (2011). Chemical reaction and particle diffusion-based kinetic modeling of metal biosorption by a *Phormidium* sp.-dominated cyanobacterial mat, *Bioresource Technology*, 102, 633-640.
- [24] Sitko, R., Turek, E., Zawisza, B., Malicka, E., Talik, E., Heimann, J., Gagor, A., Feist, B., Wrzalik, R., (2013). Adsorption of divalent metal ions from aqueous solutions using graphene oxide, *Dalton Trans.*, 42 (16), 5682-5689.
- [25] Alqadami, A.A., Khan, M.A., Siddiqui, M.R., Alothman, Z.A., (2018). Development of citric anhydride anchored mesoporous MOF through post synthesis modification to sequester potentially toxic lead (II) from water, *Microporous Mesoporous Mater.*, 261, 198-206.
- [26] Zhang, Y., Cao, B., Zhao, L.L., Sun, L.L., Gao, Y., Li, J.J., Yang, F., (2018). Biochar-supported reduced graphene oxide composite for adsorption and coadsorption of atrazine and lead ions, *Appl. Surf. Sci.*, 427, 147-155.
- [27] Xu, D., Tan, X.L., Chen, C.L., Wang, X.K., (2008). Adsorption of Pb (II) from aqueous solution to MX-80 bentonite: Effect of pH, ionic strength, foreign ions and temperature, *Applied Clay Science*, 41, 1-2, 37-46.
- [28] Kumar, M., Chung, J.S., Hur S.H., (2019). Graphene Composites for Lead Ions Removal from Aqueous Solutions, *Appl. Sci.*, 9(14), 2925.



A Comparative Study of the Total Phenolic, Total Antioxidant, and Ascorbic Acid Contents of the *Cistus criticus*, Fermented Rooibos, and Green Tea Infusions

Tugba AKTAR ^{1,*}

¹ Alanya Alaaddin Keykubat University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Turkey,
<https://orcid.org/0000-0001-8417-868X>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 December 2019
 Received in revised form 17 February 2020
 Accepted 17 February 2020
 Available online 30 September 2020

Keywords:

Cistus, *Cistus criticus*, rooibos tea, green tea, antioxidant, DPPH, total phenolic

Doi: 10.24012/dumf.659178

ABSTRACT

Plants and herbs have been used as a traditional medicine due to their phytochemical contents since ancient times. Most plants are known for their various physiological advantages thanks to their bioactive compounds. These plant-sourced herbs are mostly consumed as tea infusions. Noteworthy, tea is the second most consumed beverage throughout the world. Due to the natural bioactive content of the tea beverages they are considered as functional foods. Functional foods either prevent or avoid the progression of diseases and they are mainly rich in antioxidants and polyphenols. Functionalized food consumption has increasing trend not only due to disease prevention/delaying but also due to other health and well-being concepts. This study was motivated with the aim of comparing the brewing technique (hot and cold) for the total phenolic content, antioxidant activity and ascorbic acid levels of the *Cistus criticus*, fermented rooibos, and green tea infusions. Results obtained from this investigation will illustrate a comparative image between the selected tea infusions of hot and cold brews. Findings of this research Results suggested suggests that hot brewing is more efficient in terms of for total phenolic content while the opposite for the total antioxidant activity ($P < 0.05$). On the other hand, comparison between the three selected herbal tea samples, Also, *Cistus criticus* infusions showed the highest content of total phenolic compounds, while green tea demonstrated the highest antioxidant activity for hot and cold infusions. Ascorbic acid levels of these 3 herbal tea samples did not show any significant difference ($P > 0.05$). Noteworthy, this study cannot suggest any correlation between the total phenolic content and total antioxidant activities for the water extracted hot and cold infusions of *Cistus criticus*, fermented rooibos, and green tea samples.

* Tugba Aktar

✉ tugba.aktar@alanya.edu.tr

Introduction

Tea is the general term for the drink made from the leaf, bud or the flowers of the plant. It is the second most consumed beverage throughout the world [1]. Historically, leaves, buds, and flowers of the plants have been used for more than 4000 years as traditional medicine [2]. In addition to black and unfermented black (green) tea, various herbal teas are becoming more and more popular due to their functional properties. Previous studies and ancient scripts show that tea is rich in vital nutrients and healthy components such as phenolic compounds which shows antioxidant activity due to flavonoids [3]. Functional advantages and species-dependent properties of the drinks of the tea can be classified as: pharmacological [4, 5], toxicology [6], anti-inflammatory and anti-oxidative [7–10], and metal-chelating [11]. Despite traditional teas such as black tea [12–14], and green tea [15–17] there are many more functional herb that are consumed as tea for example: lemongrass tea [18], chamomile tea [19, 20], or mate tea [21, 22] due to their functional properties.

In order to limit or eliminate the cellular damage of the reactive oxygen, the human body greatly depends on the anti-oxidative body processes as well as antioxidant food sources. Also, for most of the bodily functions and operations, it is necessary to evoke the inflammatory process that occurs due to the noxious agents (e.g. infections). As mentioned earlier tea is a traditional ancient beverage that is used as a medicine mainly due to its flavonoid content. Flavonoids are phenolic compounds of the plants with a wide variety of structures and biological property which is addressed as the responsible body of the health benefits of those foods [1]. Previously examined tea sources and their flavonoids illustrated that they are responsible for the cell and tissue protection against the free oxygen radicals. Cell and tissue damage usually end up with life-threatening diseases such as cardiovascular diseases, cancer and etc. Naturally human body is capable of developing this free oxygen radical defense system; however, in some cases, it may not be sufficient solely. Under these conditions physicians usually suggests diet-derived sources of antioxidants to protect from cell and tissue damage of the patient. Tea is one of the main diet-derived external sources of cell protector

and due to its availability, economic advantage, and easy/favorable consumption.

In this study, cistus (*Cistus criticus*) tea, fermented rooibos tea, and green tea were infused in hot and cold brewing techniques and tea samples were examined for their total phenolic, antioxidant and ascorbic acid content. This study aimed to illustrate the basic functionality of these herbs with different brewing temperatures. Additionally, comparison of the brewing temperature, it will be possible to suggest best possible brewing conditions to the consumer directly for the optimum functionality as well as findings will be useful for further food science experiments to obtain the bioavailability and the possible component extraction opportunities.

Materials and Methods

Materials

Herbal tea samples were infused as follows. Cistus tea (CT) was obtained from the Cistus leaves which were collected from the Alanya-Gazipaşa region of Antalya (Turkey). These leaves were washed and dried by using conventional oven-drying method for 5h at 50°C (Memmert UN55) [23]. The dried leaves were then grounded in a mill (Warring 8011 Blender). Green tea (GT) (Çaykur Her Dem Yeşil) and fermented rooibos tea (FR) (Aktar Diyarı Red Rooibos) were obtained commercially from the local store in Alanya/ Antalya. Leaf samples were used after no later than 1 month of packing. Dried leaf samples were stored at -20°C before use. All chemicals were purchased from Carlo-Erba Chemical Company (Milan, Italy). Chemicals were in analytical grade.

Brewing of Tea

Tea samples were prepared by 2 different methods; hot and cold brewing according to the methods obtained from Lin, et al., (2008). For the hot brewing method; 57 g of leaf sample was added to 1000 ml distilled hot water (95°C) for 20 minutes and filtered through Whatmann No.1 filter paper. On the other hand, for the cold brewing method; same amount of leaf was added to 1000 ml distilled cold water (4°C) and stored at the room temperature for 24 hours and filtered through Whatmann No.1 filter paper. For both brewing methods the filtrate was cooled to room

temperature prior use and tea samples were prepared before each experiment. The tea samples were assessed for their total phenolic content, antioxidant activity, and ascorbic acid content in order to provide a comparative approach. Before the analysis tea samples were centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes [25].

Total Phenolic Content Analysis

Total phenolic content was measured according to the method applied by Singleton et al., (1999) and Bramati et al., (2003). 1 ml of the centrifuged extract was added to 9 ml of distilled water and 0.25 ml of this mixture were added to 1 ml of distilled water and mixed with 0.25 ml of Folin-Ciocalteu reagent. After 6 minutes of storage mixture were added to 2.5 ml (7%) sodium carbonate and 2 ml of distilled water. After mixing with vortex, the mixture was stored at the darkroom for 90 minutes and absorbance value was measured against control at 760 nm using UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu, UV-1280). Absorbance values were then used for calculating the total phenolic content by using the Gallic acid standard curve ($y=4696.4x-0.0117$, $R^2=0.9984$).

DPPH Radical Scavenging Capacity

The total antioxidant content of the tea samples was measured by using DPPH radical scavenging method obtained from Brand-Williams et al., (1995). According to this method 100 μ l of centrifuged tea sample was mixed with 3.9 ml of (0.1 mM) DPPH-methanol solution. After 2 minutes of vortex mixing the extracts were stored in the darkroom for 30 minutes. Following the 30 minutes reaction, absorbance values of the solutions were measured at 515 nm with UV-Visible spectrophotometer against blank solution. % inhibition values were calculated as;

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$

where; A_0 is the absorbance of the control and A_1 is the absorbance of the test sample.

Ascorbic Acid Content

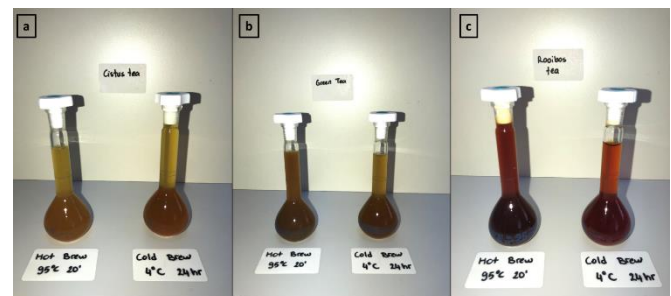
Ascorbic acid content was determined with the spectrophotometric method as applied by Murathan, (2017). According to this method, 100 μ l of centrifuged tea sample was mixed with 400 μ l oxalic acid (0.4%) and 4.5 mL 2,6-dichlorophenolindophenol (30 ppm) solution

which followed by vortex mixing. Absorbance values of these solutions were measured immediately at 520 nm by using UV-Visible spectrophotometer. Absorbance values were then used for calculating the total ascorbic acid content by using the ascorbic acid standard curve ($y=-0,0004x+0.3236$, $R^2=0.9985$).

All experiments were done in triplicate. Statistical analyses were conducted using XLSTAT (v.2014 and Prism 6.0) statistical software (Microsoft, Mountain View, CA). For data analysis, mean, median, standard deviation and coefficient of determination (R^2) values were calculated. Differences between the groups were calculated with Duncan's test, and results were considered to be statistically significant with a 95% confidence level ($P<0.05$).

Results

CT, GT and FR samples were hot and cold-brewed in order to observe the effect of the brewing temperatures on the total phenolic (TPC), total antioxidant activity (TAC) and ascorbic acid (AsA) content. A visual illustration of the hot and cold-brewed samples can be viewed from Figure 1.



Hata! Başyuru kaynağı bulunamadı. Visual illustration of hot and cold-brewed tea samples for (a) cistus tea, (b) green tea, and (c) rooibos tea.

Table 1 shows the TPC, TAC, and AsA of the CT, GT, and FR for these hot and cold infusions.

Table 1 TPC, TAC, and AsA results of the CT, GT, FR samples. All experiments were done in triplicate and statistical analyses were made at 95 % significance level. Letter indices represent different groups.

		Total Phenolic Content (Gallic acid equivalents (GAE) in mg/g)	Total Antioxidant Content (% DPPH Radical Scavenging capacity, % Inhibition)	Ascorbic Acid Content (Ascorbic acid equivalents in mg/100g dry weight)
Cistus Tea*	Hot Brewing	17.283±0.03 ^a	85.79±0.30 ^f	0.3232±0.01 ^l
	Cold Brewing	8.754±0.01 ^b	86.19±0.10 ^g	0.3233±0.01 ^l
Green Tea*	Hot Brewing	10.867±0.01 ^c	85.95±0.20 ^h	0.3236±0.02 ^l
	Cold Brewing	10.480±0.01 ^c	90.68±0.10 ⁱ	0.3234±0.01 ^l
Fermented Rooibos Tea*	Hot Brewing	5.359±0.01 ^d	73.05±0.20 ^j	0.3235±0.005 ^l
	Cold Brewing	1.587±0.04 ^e	80.15±0.10 ^k	0.3234±0.001 ^l

* Values are means of triplicate determinations ± standard deviation. Values within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

On the other hand, TPC results of the 3 herbal tea sample can be seen in Figure 2.

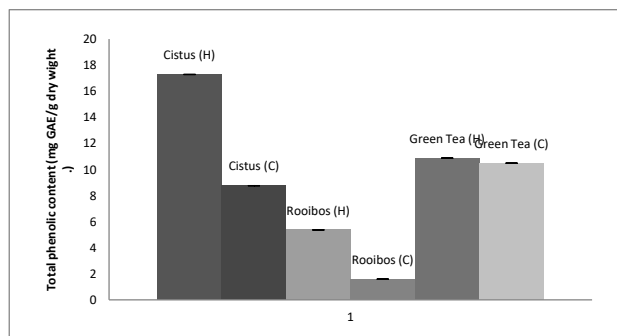


Figure 1 Total phenolic content of the hot and cold-brewed CT, GT, and FR. (C) represents cold brewing, whereas (H) represents hot brewing technique.

The DPPH method for total antioxidant activity determination is one of the commonly used methods. The method depends on the measurement of the deep violet color by absorbance disappearance as a result of the stoichiometric discoloration due to the decrease in free radicals. The DPPH radical scavenging activity of water extracted CT, GT, and RT at 0.057 g/ml concentration was 85.8 %, 86.0 %, and 73.1 % respectively for hot brewing technique. Meanwhile, the DPPH radical scavenging capacities of the CT, GT, and RT for

cold-brewed samples were 86.2 %, 90.7 %, and 80.1 % respectively.

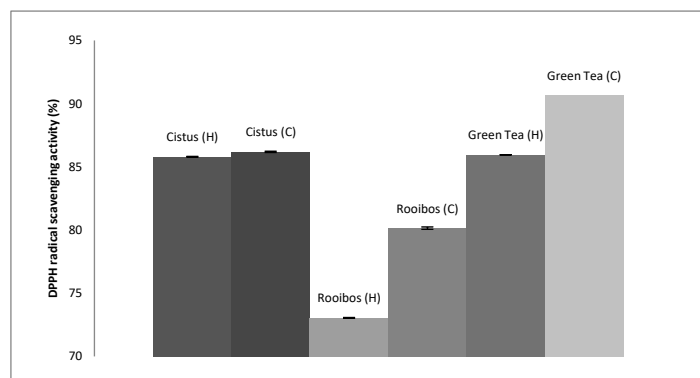


Figure 2 %DPPH radical scavenging activity of the hot and cold-brewed CT, GT, and FR. (C) represents cold brewing, whereas (H) represents hot brewing technique.

Discussion

As illustrated at the Figure 1 Comparison between the 3 herbal tea samples was aimed to be determined which will be useful for the daily consumption of the consumers as well as public health. As already mentioned by Lin, Liu, and Mau (2008), cold water extraction was less effective than hot water extraction for the total phenolic content.

TPC Content

Phenolic compounds are secondary plant metabolites that are vastly available in most of the fruits and vegetables [29]. The unique and significant features of the phenolic compounds derive from their wide range of biological and pharmacological activities [30]. In the present study TPC results of the 3 herbal tea sample can be seen in Figure 2. For GT, RT, and CT the TPC content was between 17.283 – 1.587 as Gallic acid equivalents (GAE) in mg/g dry weight. Statistically all of the tea samples have shown significant differences for the hot and cold brewing techniques except for the green tea sample. Specifically, hot brewing or thermal application increases the phenolic content of the drink which was supported in the literature [24, 31–33].

In this study, the phenolic content of hot infusions ranged from 17.283±0.03 to 5.359±0.01 GAE mg/g dry weight, whereas that of cold infusions ranged from 10.480±0.01 to 1.587±0.04 GAE mg/g dry weight. The highest

phenolic content levels were observed in hot infusions of CT, whereas lowest total phenolic content was observed in cold infusions of FR sample. As can be seen from Figure 2, CT tea shows significantly higher levels of TPC compared to RT and GT. In the literature, extracting of the phenolic compounds were mostly achieved by either ethanol or methanol solvents. However, in this study water was selected as the solvent. Few literature findings with water dissolved herbal tea are; hot extraction of fermented rooibos tea 27.09% of total polyphenols (GAE g/g) [34], hot water extracted green tea 112.3 mg/g GAE [25]. Meanwhile, ethanol or methanol extracted samples were determined to be; ethanol extracted CT about 11.90 mg/g GAE dry weight [29, 35], methanol extracted CT about 18 mg GAE/g of extract [35], and ethanol extract CT were 41.73-98.69 mg GAE/g dry weight [36]. These findings of CT and RT are mostly compatible with present findings; however, it is also significant to highlight the solvent effect which is expected to show decreased level of compound transfer when water is the solvent.

DPPH Radical Scavenging Capacity

DPPH radical scavenging capacities of the herbs and plants have been previously considered by various researchers [37–39]. Two brewing methods were statistically different ($P < 0.05$) and cold brewing techniques found to be more efficient in terms of antioxidant compounds transfer to the aqueous solution. On the other hand the DPPH radical inhibition value was higher for GT samples ($P < 0.05$) compared to other tea infusions. In the literature water extracted FR tea was observed to have 2180 $\mu\text{mol/g}$ extract) for the DPPH scavenging ability [34], whereas for methanol extracted CT 87.72 % inhibition were determined.

Ascorbic Acid Content

Ascorbic acid levels of the tea infusions were between 0.3232 and 0.3236 mg/100g dry weight. Statistical observations on the brewing temperature and herbal tea samples did not show any significant difference. This finding may show that more analytical methods might be required in order to observe the differences between the brewing temperatures of the herbs in terms of ascorbic acid levels.

Conclusions

Using plants and herbs as a traditional medicine due to their phytochemical contents is an approach used since ancient times. Most plants are known for their various physiological advantages thanks to their bioactive compounds. Ancient treating effects of foods were sourced due to their curing effect on the abundance of reactive oxygen species and free radicals. These foods which either prevent or avoid the progression of some diseases are mainly rich in antioxidants and polyphenols, which are usually defined as functional foods. Functionalized food consumption has increasing trend not only due to disease prevention/delaying but also due to other health and well-being concepts. Adding a function without any ingredient addition (natural) is one of the most attractive topics of the functional foods. Antioxidant properties and polyphenols of the foods are effective especially on the mechanisms of free radical scavenging, hydrogen donation, singlet oxygen quenching and being a substrate for oxidation reactions [40, 41]. Phenolic and antioxidant investigation of the herbal sources have been widely studied in the literature, especially for the selected three herbal tea samples [42–45]. This study was motivated with the aim of comparing mostly referred tea samples with each other for the basic functional ingredients (TPC, TAC, and AsA). Hence, water extracted material was analyzed in order to represent the real consumption conditions. Beyond the traditional use of the selected herbal tea samples, results illustrated that intermediate value-added product replacement is possible with the tea samples. The present study showed that the temperature of the water extraction on the content basis is significant for the TAC and TPC. Several factors contribute to the different levels of quantitative observations, which could be listed as; stem-leaf ratio (of the plant), particle size of the material (which affects the mass transfer), solvent-to-solid ratio during extraction and infusion.

As illustrated visually and analytically, the temperature of brewing has significant effect on water-soluble component extraction from the tea-leaves. The particle size of the leaves, extraction temperature and duration is critical for the components which have functional significance such as phenolic [24, 46]. Hence, considering the process for home use and

industrial applications for the tea leave brewing, hot extraction brewing has shown the most efficient process, especially for TPC. One of the main aims of this study was observing the one cup serving product properties in terms of significant components such as antioxidants and phenolic contents which requires using water as the solvent. As mentioned earlier at the year of 2012 by Joubert and de Beer, there is missing information in the literature about the one-cup content of the functional tea brews, as well as comparative approach to those tea samples. This study illustrated that hot brewing is more effective in terms of TPC whereas opposite is preferable for TAC. Additionally cistus tea seems to show higher total phenolic content and green tea with highest total antioxidant activity between the tested 3 herbal tea samples regardless the brewing temperature

On the other hand, we usually expect that high polyphenol content to exhibit high total antioxidant activity. However, this study cannot suggest any correlation between the TPC and the TAC content of the water extracted hot and cold infusions of CT, GT, and FR tea samples.

References

- Rietveld A, Wiseman S (2003) Antioxidant effects of tea: evidence from human clinical trials. *J Nutr* 133:3285S-3292S
- Chatterjee P, Chandra S, Dey P, Bhattacharya S (2012) Evaluation of anti-inflammatory effects of green tea and black tea: A comparative in vitro study. *J Adv Pharm Technol Res* 3:136
- Anissi J, El Hassouni M, Ouardaoui A, Sendide K (2014) A comparative study of the antioxidant scavenging activity of green tea, black tea and coffee extracts: A kinetic approach. *Food Chem* 150:438–447
- Zhang S, Shan L, Li Q, et al (2014) Systematic analysis of the multiple bioactivities of green tea through a network pharmacology approach. *Evidence-based Complement Altern Med* 2014:
- Jing-zi W, Gang W, Gui-fa X, Jing-fan G (2006) The study of pharmacology of tea polyphenol [J]. *Food Drug* 3:
- Cao J, Han J, Xiao H, et al (2016) Effect of tea polyphenol compounds on anticancer drugs in terms of anti-tumor activity, toxicology, and pharmacokinetics. *Nutrients* 8:762
- Sang S, Lambert JD, Tian S, et al (2004) Enzymatic synthesis of tea theaflavin derivatives and their anti-inflammatory and cytotoxic activities. *Bioorg Med Chem* 12:459–467
- Trouillas P, Calliste C-A, Allais D-P, et al (2003) Antioxidant, anti-inflammatory and antiproliferative properties of sixteen water plant extracts used in the Limousin countryside as herbal teas. *Food Chem* 80:399–407
- Cavet ME, Harrington KL, Vollmer TR, et al (2011) Anti-inflammatory and anti-oxidative effects of the green tea polyphenol epigallocatechin gallate in human corneal epithelial cells. *Mol Vis* 17:533
- Tipoe GL, Leung T-M, Hung M-W, Fung M-L (2007) Green tea polyphenols as an anti-oxidant and anti-inflammatory agent for cardiovascular protection. *Cardiovasc Haematol Disord Targets (Formerly Curr Drug Targets-Cardiovascular Hematol Disord)* 7:135–144
- Joshi R, Sood S, Dogra P, et al (2013) In vitro cytotoxicity, antimicrobial, and metal-chelating activity of triterpene saponins from tea seed grown in Kangra valley, India. *Med Chem Res* 22:4030–4038
- Gardner EJ, Ruxton CHS, Leeds AR (2007) Black tea—helpful or harmful? A review of the evidence. *Eur J Clin Nutr* 61:3
- Łuczaj W, Skrzydlewska E (2005) Antioxidative properties of black tea. *Prev Med (Baltim)* 40:910–918
- Serafini M, Ghiselli A, Ferro-Luzzi A

- (1996) In vivo antioxidant effect of green and black tea in man. *Eur J Clin Nutr* 50:28–32
15. Chacko SM, Thambi PT, Kuttan R, Nishigaki I (2010) Beneficial effects of green tea: a literature review. *Chin Med* 5:13
 16. Cabrera C, Artacho R, Giménez R (2006) Beneficial effects of green tea—a review. *J Am Coll Nutr* 25:79–99
 17. Graham HN (1992) Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. *Prev Med (Baltim)* 21:334–350
 18. Olorunnisola SK, Hammed AM, Simsek S (2014) Biological properties of lemongrass: An overview. *Int Food Res J* 21:
 19. Kato A, Minoshima Y, Yamamoto J, et al (2008) Protective effects of dietary chamomile tea on diabetic complications. *J Agric Food Chem* 56:8206–8211
 20. McKay DL, Blumberg JB (2006) A review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita* L.). *Phyther Res An Int J Devoted to Pharmacol Toxicol Eval Nat Prod Deriv* 20:519–530
 21. Bastos DHM, Ishimoto EY, Marques MOM, et al (2006) Essential oil and antioxidant activity of green mate and mate tea (*Ilex paraguariensis*) infusions. *J Food Compos Anal* 19:538–543
 22. Heck CI, De Mejia EG (2007) Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): a comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *J Food Sci* 72:R138–R151
 23. Chan EWC, Lim YY, Wong SK, et al (2009) Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chem* 113:166–172
 24. Lin S-D, Liu E-H, Mau J-L (2008) Effect of different brewing methods on antioxidant properties of steaming green tea. *LWT-Food Sci Technol* 41:1616–1623
 25. Bramati L, Aquilano F, Pietta P (2003) Unfermented rooibos tea: quantitative characterization of flavonoids by HPLC–UV and determination of the total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 51:7472–7474
 26. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: *Methods in enzymology*. Elsevier, pp 152–178
 27. Brand-Williams W, Cuvelier M-E, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci Technol* 28:25–30
 28. Murathan ZT (2017) Farklı rakımlarda yetişen *Hippophae rhamnoides* L. meyvelerinin antioksidan kapasiteleri ve bazı biyoaktif özelliklerinin incelenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg* 10:266–277
 29. Rebaya A, Belghith SI, Kalthoum Cherif J, Trabelsi-Ayadi M (2016) Total phenolic compounds and antioxidant potential of rockrose (*Cistus salviifolius*) leaves and flowers grown in Tunisia. *Int J Pharmacogn Phytochem Res* 8:327–331
 30. Razali N, Razab R, Junit SM, Aziz AA (2008) Radical scavenging and reducing properties of extracts of cashew shoots (*Anacardium occidentale*). *Food Chem* 111:38–44
 31. Kim G-N, Lee J-S, Song J-H, et al (2010) Heat processing decreases Amadori products and increases total phenolic content and antioxidant activity of Korean red ginseng. *J Med Food* 13:1478–1484
 32. Chumyam A, Whangchai K, Jungklang J, et al (2013) Effects of heat treatments on antioxidant capacity and total phenolic content of four cultivars of purple skin eggplants. *Sci Asia* 39:246–251

33. Yin Q, Mu H, Zeng M, et al (2019) Effects of heating on the total phenolic content, antioxidant activities and main functional components of simulated Chinese herb candy during boiling process. *J Food Meas Charact* 13:476–486
34. Joubert E, de Beer D (2012) Phenolic content and antioxidant activity of rooibos food ingredient extracts. *J food Compos Anal* 27:45–51
35. Amensour M, Sendra E, Pérez-Alvarez JA, et al (2010) Antioxidant activity and chemical content of methanol and ethanol extracts from leaves of rockrose (*Cistus ladaniferus*). *Plant foods Hum Nutr* 65:170–178
36. Dimcheva V, Karsheva M (2017) Antioxidant activity and polyphenolic content of the Bulgarian wild herb *cistus incanus* stored under different conditions. *J Chem Technol Metall* 52:
37. Ahmad N, Fazal H, Ahmad I, Abbasi BH (2012) Free radical scavenging (DPPH) potential in nine *Mentha* species. *Toxicol Ind Health* 28:83–89
38. Wu J-H, Huang C-Y, Tung Y-T, Chang S-T (2008) Online RP-HPLC-DPPH screening method for detection of radical-scavenging phytochemicals from flowers of *Acacia confusa*. *J Agric Food Chem* 56:328–332
39. Oh J, Jo H, Cho AR, et al (2013) Antioxidant and antimicrobial activities of various leafy herbal teas. *Food Control* 31:403–409
40. Nićiforović N, Mihailović V, Mašković P, et al (2010) Antioxidant activity of selected plant species; potential new sources of natural antioxidants. *Food Chem Toxicol* 48:3125–3130
41. Gonçalves S, Gomes D, Costa P, Romano A (2013) The phenolic content and antioxidant activity of infusions from Mediterranean medicinal plants. *Ind Crops Prod* 43:465–471
42. Rebaya A, Belghith SI, Cherif JK, Trabelsi-Ayadi M (2016) Total phenolic compounds and antioxidant potential of rokrose (*Cistus salviifolius*) leaves and flowers grown in Tunisia. *Int J Pharmacogn Phytochem Res* 8:327–331
43. Barrañón-Catalán E, Fernández-Arroyo S, Roldán C, et al (2011) A systematic study of the polyphenolic composition of aqueous extracts deriving from several *Cistus* genus species: evolutionary relationship. *Phytochem Anal* 22:303–312
44. Guimarães R, Sousa MJ, Ferreira ICFR (2010) Contribution of essential oils and phenolics to the antioxidant properties of aromatic plants. *Ind Crops Prod* 32:152–156
45. Dudonne S, Vitrac X, Coutiere P, et al (2009) Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J Agric Food Chem* 57:1768–1774
46. Salman S, Azarabadi N, Ozdemir F (2019) Siyah çay harmanında partikül boyutu ve demleme süresinin dem özellikleri üzerine etkisi. *GIDA* 44:442–452

B-Siklodekstrin Bazlı Kompozitin Sentezi ve Katyonik Boya Gideriminde Kullanımı

Synthesis of B-Cyclodextrin-based Composite and Its Use in Cationic Dye Removal

Ayfer Yildirim^{1*}

^{1*} Mardin Artuklu Üniversitesi, SHMYO, Mardin, ayferyildirim@artuklu.edu.tr, ORCID id:0000-0002-2079-4587

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 26 Aralık 2019
Düzeltilme: 18 Şubat 2020
Kabul: 19 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

β -siklodekstrin, psödo-ikinci, kompozit, katyonik boya

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, β -siklodekstrin bazlı kompozit sentezlemek ve katyonik boya maddesi gideriminde kullanmaktır. Adsorpsiyon deneyleri beç yöntemi kullanılarak uygun şartlarda gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları için kompozitin boya maddesi giderim öncesi ve sonrası spektrumları fourier dönüşüm kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi ile incelenmiştir. Boyar madde adsorpsiyonuna temas süresi, başlangıç boya madde derişimi ile pH etkisi gibi parametreler araştırıldı. Adsorpsiyon için en uygun pH'ın 8 olduğu bulunmuştur (deneysel şartlar: başlangıç boya derişimi (Co): 100 mg/L, sıcaklık (T): 25 °C, karıştırma hızı (r): 140 rpm, adsorbent miktarı (m): 10 mg, boya madde çözelti hacmi (V): 50 mL). pH etkisi deneysel koşulları için pH: 3,4, 5, 6, 7, 8 olarak sabitlenmiş 6 farklı boya çözeltisi kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri, adsorpsiyon kapasitesinin deneysel değişkenlerine bağımlı ve dolayısıyla adsorpsiyonun pH'a bağımlı olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, adsorpsiyon mekanizması psödo-birinci-mertebe ve psödo-ikinci-mertebe kinetik modellerinde değerlendirilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlara göre, korelasyon kat sayılarının daha büyük olması dolayısıyla ($R^2 > 0.99$), psödo-ikinci-mertebe kinetik modelinin katyonik boya giderimi için psödo-birinci mertbe kinetik modeline göre daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden en yüksek boya adsorpsiyon kapasitesinin 240.12 mg/g olduğu rapor edilmiştir (Co: 300 mg/L, T: 25 °C, r: 140 rpm). Sonuç olarak sentezlenen kompozit maddenin adsorpsiyon kapasitesinin iyi olması nedeniyle katyonik boya gideriminde uygun bir malzeme olduğu söylenebilir.

Doi: 10.24012/dumf.665705

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 December 2019
Revised: 18 February 2020
Accepted: 19 February 2020

Keywords:

β -cyclodextrin, pseudo-second, composite, cationic dye

ABSTRACT

The aim of this study is synthesis of β -cyclodextrin based composite and using it for cationic dye removal. The adsorption experiments were carried out under the appropriate conditions using the bath method. For characterization of composite, spectra of composite before and after dye removal were analyzed by fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR). Some parameters such as effect of contact time, initial dye concentration, temperature and pH have been investigated. The optimum pH has been found as 8 for adsorption (experimental conditions: initial dye concentration (Co):100 mg/L, temperature (T):25 °C, agitation speed (r):140 rpm, amount of adsorbent: 10 mg, volume of dye solution (V):50 mL). For pH experimental conditions, 6 different dye solutions at pH:3,4,5,6,7 and 8 were used. Adsorption experiments indicated that the adsorption capacity was dependent of operating variables and the process was pH-dependent. Besides, adsorption mechanism has been evaluated by pseudo-first and pseudo-second kinetic models. According to the results obtained from the experimental data, pseudo-second-order kinetic model has been found to be more compatible (because the correlation numbers are larger ($R^2>0.99$) than pseudo-first-order kinetic model. The highest adsorption capacity has been determined as 240.12 mg/g from the data obtained (Co:300 mg/L, T:25 °C, r:140 rpm). In conclusion, it can be said that the synthesized composite material is a suitable material for cationic dye removal due to its good adsorption capacity.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Ayfer Yildirim
✉ ayferyildirim@artuklu.edu.tr

Giriş

Son zamanlarda teknolojinin hızla gelişmesinden büyük ölçüde olumsuz etkilenen çevre kirliliği büyük bir sorun haline gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrileri atıklarının sulara boşaltılması su kirliliğinin artmasına neden olmuştur [1]. Ayrıca, bu kirlilik sorunu canlı türlerini ve insan sağlığını tehdit eden çevresel risklerin kaynağını teşkil etmektedir [2]. Boyaların uzaklaştırılması, çevrede bulunan toksik boyaların kullanımına bağlı riskleri azaltmak için önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir. Bu amaçla başarılı bir şekilde uygulanan adsorpsiyon, fotokataliz, gelişmiş oksidasyon prosesi, koagülasyon, ultra filtrasyon ve biyolojik arıtma gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon yöntemi, tasarım kolaylığı, toksik olmayan materyallerin kullanımı, düşük maliyet ve yüksek verim nedeniyle boyaların giderilmesinde tercih edilen önemli bir atık su arıtma yöntemidir [3,4].

Kil mineralleri, kolay kullanılabilirliği, toksik olmayan, geniş yüzey alanı, yüksek şişme ve kation kapasitesi ve yüzeyde çeşitli aktif alanların varlığı nedeniyle adsorpsiyon işlemine oldukça uygundur. Ayrıca, killer organik kationların ara tabaka yüzeylerine birleştirilmesiyle modifiye edilebilirler [5-8]. Fakat, doğal killerin kristal yapısı ve negatif yüklü olması endüstriyel uygulamalarını sınırladığından kil kompozitlerin oluşumu hız kazanmıştır.

Yedi glikoz ünitesinden oluşan bir makrosiklik molekül olan β -Siklodekstrin (β -CD), eşsiz hidrofobik boşluk yapısı ve makrosiklik halkaların dışındaki çok sayıda değiştirilebilir grupları sayesinde dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, suda yüksek çözünürlüğü nedeniyle kirlenici gideriminde uygulanması sınırlanmıştır, bu nedenle, literatürde çözünmeyen-çapraz-bağlanmış-CD kompozitleri birçok araştırmacı tarafından yoğun bir şekilde incelenmiştir [9,10].

Bu çalışmada, β -siklodekstrin maddesine bentonit kili eklenerek çapraz bağlayıcı ilavesiyle β -

SDB kompoziti sentezlenmiş ve kationik bir boya olan malahit yeşili (MY, Şekil 1) boya maddesinin giderim çalışmaları araştırılmıştır. adsorpsiyon çalışmaları için temas süresi, başlangıç MY derişimi ile pH etkisi incelenmiştir. Deneysel veriler kinetik modellemelerden psödo-birinci-mertebe ve psödo-ikinci-mertebe mertebesinde değerlendirilerek hangisiyle uyumlu olduğu araştırıldı.

Materyal ve metot

Kompozit sentezi için başlangıçta 0.25 gr β -siklodekstrin (Sigma, β -SD), 0.25 gr bentonit kili (B), 15 ml dimetilformamid (DMF) çözelti içeren kapalı 250 ml'lik beher içerisine alınarak homojen bir karışım elde edene kadar magnetik karıştırıcıda karıştırıldı. Daha sonra çapraz bağlayıcı olarak 0.25 ml etilenglikoldimetakrilat (EGDMA, Sigma) karışımın içerisine eklenerek yaklaşık 4 saat boyunca 60-70 °C'de karıştırılmaya devam edildi. Elde edilen karışım 50 ml etanol içeren 250 ml'lik behere boşaltılarak çöktürüldü. Böylece oluşan çökelti süzüldü ve 70 °C'de 24 saat boyunca kurutulduktan sonra öğütüldü [11].

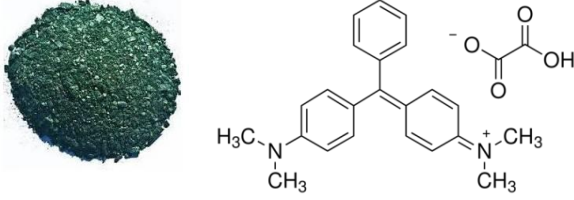
Sentezlenen β -SDB kompozitinin karakterizasyon işlemleri için ALPHA Bruker Spectrometer Platinum-ATR (ZnSe kristal) marka cihazı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile fonksiyonel grupları araştırıldı. Isısal analizlerin yapılması için de DSC250 TA (azot gazı, ısıtma hızı 10 dak⁻¹) marka Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DCS) cihazı kullanıldı.

Sigma-Aldrich marka toz halindeki malahit yeşili okzalat boya maddesinin öncelikle 1000 mg/lit'lik stok çözeltisi hazırlandı, daha sonra ise çeşitli başlangıç derişimlerin (100, 200, 300 mg/lit) elde edilmesinde de bu stok çözelti kullanıldı.

Giderim deneyleri beç yöntemiyle GFL 1083 çalkalamalı su banyosu cihazında hızı 140 rpm, sıcaklığı 25 °C ile pH:4 deneysel koşullarında yapıldı. Çalkalamalı su banyosundan 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 dak zaman aralıklarında alınan MY boya çözülemlerinin derişimleri PG T80+ model UV-Vis spektrofotometre cihazıyla 617 nm dalgaboyunda araştırıldı. Adsorplanan MY boya derişimleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı.

$$q = (C_0 - C_e)V / m$$

Burada q adsorplanan miktarı, C_0 başlangıç MY boya madde miktarı, C_e denge anında MY boya madde derişimi, m ise adsorbent miktarını göstermektedir.



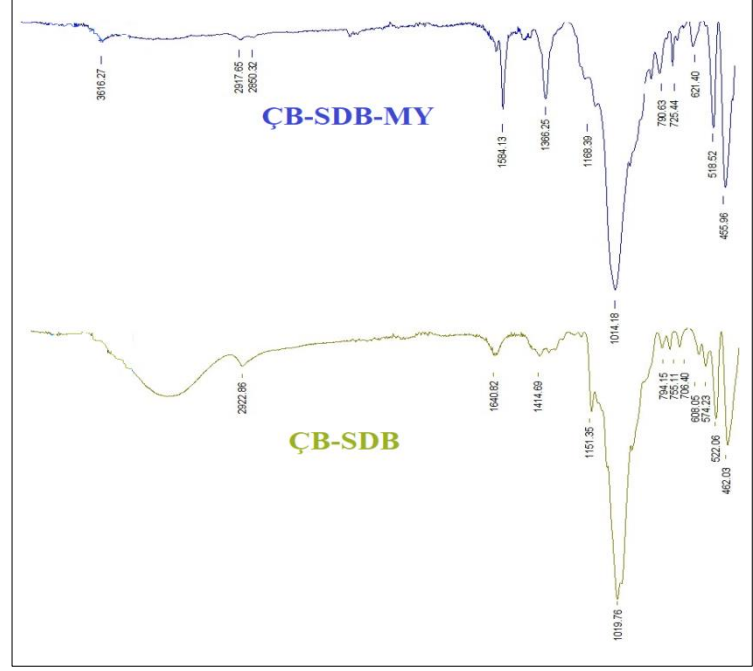
Şekil 1. Malahit yeşili

Bulgular ve tartışma

Karakterizasyon çalışmaları

FTIR analizleri

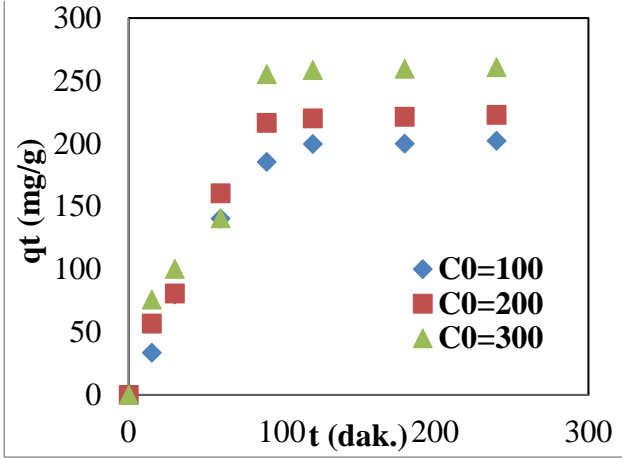
Şekil 2'de $\text{Ç}\beta\text{-SDB}$ kompozitinin MY adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları verilmiştir. $\text{Ç}\beta\text{-SDB}$ kompozitinin spektrumunda yer alan, $\sim 3300 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik O-H titreşimine [12-14], 2922 cm^{-1} 'deki pik C-H gerilme titreşimine, 1640 cm^{-1} 'deki pik O-H eğilme titreşimine, 1151 cm^{-1} 'deki pik C-O titreşimine, 1019 cm^{-1} 'deki pik C-O-C (Si-O) kaynaşmasına, 794 cm^{-1} 'deki pik Si-O bağına, 522 cm^{-1} 'deki pik ise C-H bükülmesine aittir [15-17]. MY boya adsorpsiyon sonrası elde edilen spektruma bakıldığında ise, 2922 , 1151 , 1019 , 794 , 522 , cm^{-1} 'deki piklerin sırasıyla 2917 , 1168 , 1014 , 790 , 518 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. Ayrıca, 1414 (C-O) cm^{-1} 'deki pikin kaybolduğu ve 1584 , 1366 , 725 cm^{-1} 'de MY boyasına ait olduğu düşünülen ve sırasıyla C=C, C-H, C-C bükülmesine ait yeni pikler oluştuğu gözlenmektedir [18]. Yeni oluşan, kaybolan ve kayan pikler malahit yeşili boya maddesinin kompozit üzerine adsorplandığının kanıtı olduğu düşünülmektedir.



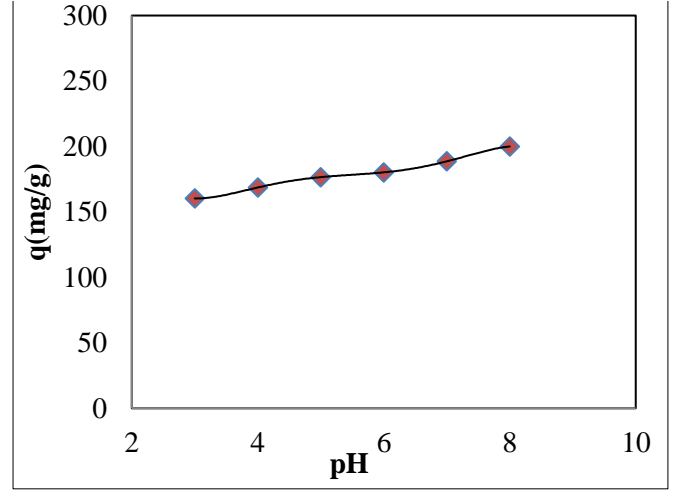
Şekil 2. $\text{Ç}\beta\text{-SDB}$ kompozitinin MY boyası adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları

Temas süresi ile başlangıç MY boya derişimi etkisi

Giderim çalışmalarında öncelikle MY boya maddesinin $C_0 = 100$, 200 ve 300 mg/Lt olmak üzere 3 farklı derişimi hazırlanarak hem temas süresi hem de başlangıç derişiminin giderim kapasitesi üzerine etkisi $t = 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240$ ve 300 dak zaman aralığında incelendi. Sonuçlar Şekil 3'te görülmektedir. Şekil 3'te de görüldüğü gibi, başlangıçta adsorpsiyon çok hızlı artmakta ($t = 0-90 \text{ dak}$), daha sonra yavaşlamış, denge durumunda (120 dak) ise sabit kalmıştır [18]. MY boya derişimi 200 mg/Lt 'den 300 mg/Lt 'ye çıktığında giderim miktarı 180.22 mg/g ' dan 240.12 mg/g 'a arttığı görülmüştür. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi 300 mg/Lt başlangıç derişiminde 240.12 mg/g olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Temas süresi ile başlangıç MY boya madde derişimlerinin giderim üzerine etkisi



Şekil 4. pH'nın MY boya giderimine etkisi

pH etkisi

pH'nın MY boya maddesi giderimi üzerindeki etkisini incelemek için boya çözeltisinin başlangıç pH değerleri 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 olarak ayarlandı ($C_0=100$ mg/Lt, $T=25$ °C, $r=140$ rpm). Şekil 4, farklı pH'ların giderim üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 4'e göre, boya giderimi pH 6'dan düşük olduğunda elverişsizdir. Bu durumda, sistemin pH'sı düştükçe (asidik ortam), negatif yüklü adsorbent alanların sayısı azalmış ve pozitif yüklü yüzey alanlarının sayısı artmış böylece elektrostatik itme nedeniyle pozitif yüklü boya katyonlarının adsorpsiyonunu desteklememiştir. Bununla beraber, asidik pH'da MY boya gideriminin daha düşük olması, kompozit yüzeyindeki bölgeler için boya katyonlarıyla rekabet eden aşırı H^+ iyonlarının varlığından kaynaklanmaktadır [19]. pH 8'de ise maksimum giderim sağlanmış ve adsorpsiyon kapasitesi pH arttıkça artmıştır. pH 5'ten sonra ise çok az artmış olmasından dolayı deneylerin geri kalanında pH ayarlaması gerekmemiştir. Böylece renk giderimi boya moleküllerinin yapısal değişikliklerinden etkileniyor denilebilir. Changzu ve vd. [20] yaptığı çalışmada da benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Kinetik çalışmalar

MY boya maddesinin $\text{Ç}\beta\text{-SDB}$ kompoziti üzerine giderimi kinetik olarak $C_0=100$, 200 ve 300 mg/Lt'de incelendi. Bu amaçla kinetik veriler için hız sabitlerini ve diğer parametreleri hesaplamak için psödo-birinci-mertebe ile psödo-ikinci-mertebe kinetik modelleri kullanıldı. Psödo-birinci-mertebe kinetik modeline ait lineer denklem aşağıda gösterilmiştir [4].

$$\log(qd-qt) = \log qd - k_1 t / 2.302$$

Burada k_1 (dak⁻¹) psödo-birinci-mertebe hız sabitini, qd (mg/gr) denge anında, qt ise t anında gr başına adsorplanan MY boya madde miktarını, t (dak.) zamanı göstermektedir.

Bu model için düz bir çizgi elde etmek için, $\ln(qd-qt)$ 'e karşı t grafiği çizilir, böylece elde edilen düz çizgi denklemdeki eğim ve kesişmesinden k_1 ve qd hesaplanmaktadır (Şekil 5a).

Psödo-ikinci-mertebe kinetik modeline ait lineer denklem aşağıda verilmiştir [21].

$$t/qt = 1/k_2 qd^2 + t/qd$$

Burada k_2 (gr/moldak) psödo-ikinci-mertebe hız sabitini göstermektedir.

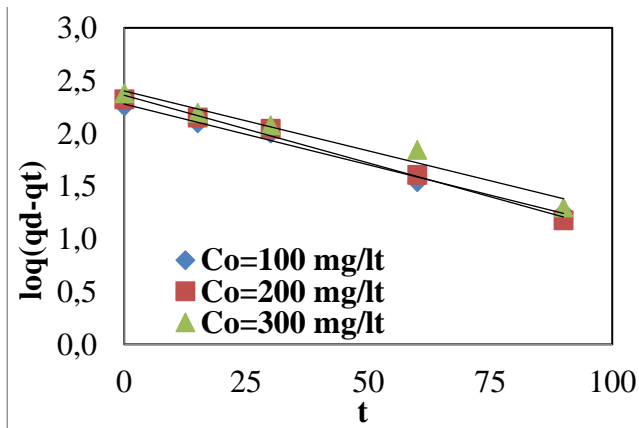
t/qt 'ye karşı t düz çizgi grafiğinin eğimi ve kesişmesinden k_2 ve qd değeri hesaplanmaktadır (Şekil 5b).

Tablo 1. Psödo-birinci ve psödo-ikinci-mertebe kinetik modellerine ait veriler

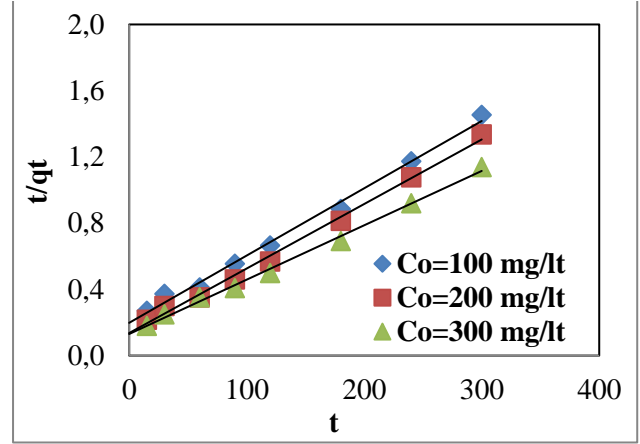
Co (mg/lt)	Psödo-birinci-mertebe				Psödo-ikinci-mertebe		
	qden. (mg/gr)	qhes. (mg/gr)	k1 (1/dak)	R ²	qhes. (mg/gr)	k2 (g/mgdak)	R ²
100	65.50	58.98	0.0230	0.9820	72.46	3.7051	0.9931
200	53.90	42.97	0.0200	0.9757	58.82	3.2819	0.9941
300	46.45	34.47	0.0150	0.9364	51.55	2.3524	0.9896

Kinetik veriler farklı MY boya derişimlerinde (Co=100, 200 ve 300 mg/lt) değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 1' de gösterilmiştir.

Korelasyon katsayılarına (R²) bakıldığında, bu değerlerin psödo-ikinci-mertebe kinetik modelinde, pseudo-birinci-mertebe modeline göre 1'e daha yakın olduğu (R²>0.99), ayrıca teorik olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasiteleri (qteo.) de deneysel adsorpsiyon kapasite verilerine (qden.) daha yakın olmasıyla Çβ-SDB kompozitinin MY boya maddesi gideriminde psödo-ikinci-mertebe kinetik modeline daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1) [1]. Psödo-ikinci-mertebe MY boyasının Çβ-SDB kompoziti üzerine gideriminde kemi-sorpsiyon mekanizmasının belirleyici olduğunu göstermektedir [22]. Benzer çalışmalar yapan Saeed [23] ve Yildirim [23] da yaptıkları hesaplamalardan boyar madde giderimlerinin psödo-ikinci-mertebe kinetik modeline uygun olduğunu tespit etmişlerdir.



(a)



(b)

Şekil 5. (a) Psödo-birinci-mertebe (b) Psödo-ikinci-mertebe kinetik modeli

Tablo 2'de literatürde farklı adsorbanların MY adsorpsiyonu çalışmalarından elde edilen adsorpsiyon kapasiteleri verilmiştir. Tablo 2' ye göre, çalışmamızda kullanılan kompozit maddenin adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleriyle kıyaslandığında, sonuçların oldukça iyi olduğu ve böylece boya madde giderim çalışmalarında Çβ-SDB kompozitinin uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 2. MY boyasının farklı adsorbanlar üzerine adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması

Kompozit	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans
Pirinç samanından elde edilen kömür	148.70	[25]
Siklodektrin-bazlı adsorbent	91.00	[26]
Aktif karbon (lignit)	200.00	[27]
Çitosan boncuk	93.50	[28]
Aktif karbon/CoFe ₂ O ₄ kompozitleri	89.29	[29]
Çβ-SDB kompoziti	240.12	Bu çalışma

Sonuçlar

Bu çalışmada MY boya maddesi gideriminde kullanılmak üzere Çβ-SDB kompoziti sentezlenmiş ve FTIR, DSC ile karakterize edildi. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi Co=300 mg/lt ve 120 dak.'da 240.12 mg/gr olarak tespit edildi. pH arttıkça, adsorpsiyon kapasitesi artmakta en uygun pH da 8 olarak bulundu. Kinetik çalışmalarda yapılan hesaplamalar ve korelasyon katsayılarının büyüklüklerine bakılarak ($R^2 > 0.99$), adsorpsiyon mekanizmasının psödo-ikinci-mertebe modeline uygun ve kimyasal adsorpsiyon özelliği gösterdiği rapor edildi.

Kaynaklar

- [1] Baran, F., Duz, Z., Uzan, S., Dolak, İ., Celik, S., Kilinc E., (2018). Removal of Hg(II) from Aqueous Solution by Bacillus subtilis ATCC 6051 (B1). *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, **8**, 4, 1-7.
- [2] Hanafy, H., Sellaoui, L., Thue, P. S., Lima, E. C., Dotto, G. L., Alharbi, T., Belmabrouk, H., Bonilla-Petriciolet, A., Lamin A. B., (2019, online). Statistical physics modeling and interpretation of the adsorption of dycemazol black B on natural and carbonized biomasses. *Journal of Molecular Liquids*, **xxx**, xxx.
- [3] Jawad, A. H., Mubarak, N. S. A., Abdulhameed A. S., (2019, online). Tunable Schiff's base-cross-linked chitosan composite for the removal of reactive red 120 dye: Adsorption and mechanism study. *International Journal of Biological Macromolecules*, **xxx** (xxxx) xxx.
- [4] Baran, M. F., Duz, Z., (2019). Biosorption of Pb²⁺ from aqueous solutions by Bacillus licheniformis isolated from Tigris river with a comparative study. *International Journal of Latest Engineering and Management Research*, **4**, 5, 108-121.
- [5] Gamoudi, S., Srasra E., (2019). Adsorption of organic dyes by HDPy+-modified clay: Effect of molecular structure on the adsorption. *Journal of Molecular Structure*, **1193**, 522-531.
- [6] Errais, E., Duplay, J., Elhabiri, M., Khodja, M., Ocampo, R., Baltenweck-Guyot, R., Darragi, F., (2012). Anionic RR120 dye adsorption onto raw clay: Surface properties and adsorption mechanism. *Colloid and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **403**, 69-78.
- [7] Onursal, N., Rıza, A., Kul, Yavuz, Ö., (2019). Pb(II) iyonlarının aktive edilmiş karışık tipteki kil ile sudan uzaklaştırılması,

- izoterm, kinetik ve termodinamik parametrelerin incelenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics-Engineering Natural & Medical Sciences*, **7**, 12-30.
- [8] Onursal, N., Kul, A. R., Baran, M. F., (2019). Cu(II) iyonlarının aktive edilmiş karışık tipteki kil ile sudan uzaklaştırılması, izoterm, kinetik ve termodinamik parametrelerin incelenmesi. *Journal of Mathematics-Engineering Natural & Medical Sciences*, **63**, 69-91.
- [9] Ling Y., Klemes, M.J., Xiao, L., Alsbaiee, A., Dichtel, W.R., Helbling, D.E., (2017). Benchmarking micropollutant removal by activated carbon and porous beta-cyclodextrin polymers under environmentally relevant scenarios. *Environ. Sci. Technol.*, **51**, 7590–7598.
- [10] Xiao, L., Ling, Y., Alsbaiee, A., Li C., Helbling, D.E., Dichtel, W.R., (2017). Beta-cyclodextrin polymer network sequesters perfluorooctanoic acid at environmentally relevant concentrations. *J. Am. Chem. Soc.*, **139**, 7689–7692.
- [11] Tcheumi H.L., Tassontio V.N., Tonle I.K., Ngameni E., (2019). Surface functionalization of smectite-type clay by facile polymerization of β -cyclodextrin using citric acid cross linker: Application as sensing material for the electrochemical determination of paraquat. *Applied Clay Science*, **173**, 97–106.
- [12] Baran, M. F., Saydut, A., Umaz, A., (2019). Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, **10**, 689-695.
- [13] Baran, M. F., Saydut, A., (2019). Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, **10**, 1033-1040.
- [14] Baran, M. F., Acay, H., Keskin, C., Aygün, H., Yıldırım, A., (2019). Çörek otu bitkisi (*nigella sativa* l.) özütü kullanılarak TiO₂ NP'lerin sentezi ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, **7**, 69-75.
- [15] Chen, L.F., Shen, Q, Shen, J.-P., Shi, D.T., Chen, T., Yu H.R., (2012). Studies and comparison of the liquid adsorption and surface properties of α , β and δ -cyclodextrins by FTIR and capillary rise method. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **411**, 69–73.
- [16] Jiang, H.L., Xu, M.Y., Xie, Z.W., Hai, W., Xie, X. L., He, F.A., (2019, online). Selective adsorption of anionic dyes from aqueous solution by a novel β -cyclodextrin-based polymer. *Journal of Molecular Structure*, **xxx**, xxx .
- [17] Pentrák, M., Hronský, V., Pálková, H., Uhlík, P., Komade, P., Madejová, J., (2018). Alteration of fine fraction of bentonite from Kopernica (Slovakia) under acid treatment: A combined XRD, FTIR, MAS NMR and AES study. *Applied Clay Science*, **163**, 204–213.
- [18] Sharma, G., Bhogal, S., Gupta, V.K., Agarwal, S., Kumar, A., Pathania, D., Mola, G.T., Florian, J., (2019) Stadle. Algal biochar reinforced trimetallic nanocomposite as adsorptional/photocatalyst for remediation of malachite green from aqueous medium. *Journal of Molecular Liquids*, **275**, 499–509.
- [19] Dahri, M.K., Kooh, M. R. R., Linda, B.L.L., (2015). Application of Casuarina equisetif olianneedle for the removal of methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution. *Alexandria University Journal*, **54**, 1253-63.

- [20] Chanzu, H.A., Onyari, J.M., Shiundu, P.M., (2019). Brewers'spent grain in adsorption of aqueous Congo Red and malachiteGreen dyes: Batch and continuousflow systems. *Journal of Hazardous Materials*, **380**, 1208972.
- [21] Baran M. F., Duz, M. Z., (2019). Removal of cadmium (II) in the aqueous solutions by biosorption of *Bacillus licheniformis* isolated from soil in the area of Tigris River. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, **6**, 96-103.
- [22] Saeed, M., Munir, M., Nafees, M., Shah, S. S. A., Ullah, H., Waseem, A., (2020). Synthesis, characterization and applications of silylation based grafted bentonites for the removal of Sudan dyes: Isothermal, kinetic and thermodynamic studies. *Microporous and Mesoporous Materials*, **291**, 109697.
- [23] Rajabi, M., Mahanpoor, K., Moradi, O., (2019). Preparation of PMMA/GO and PMMA /GO-Fe₃O₄ nanocomposites or malachite green dye adsorption: Kinetic and thermodynamic studies, *Composites Part B*, **167**, 544–555.
- [24] Yildirim, A., Bulut, Y., (2019, online). Adsorption behaviors of malachite green by using crosslinkedchitosan/polyacrylic acid/bentonite composites with different ratios. *Environmental Technology & Innovation*, **xxx**, xxx.
- [25] Hameed B.H., El-Khaiary M.I., (2008). Kinetics and equilibrium studies of malachite green adsorption on rice straw-derived char. *J. Hazard. Mater.*, **153**, 701-708.
- [26] Crini G., Peindy H., Gimbert F., Robert C., (2007). Removal of C.I. Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: Kinetic and equilibrium studies. *Sep. Purif. Technol.*, **53**, 97-110.
- [27] Onal Y., Akmil-Basar C., Sarici-Ozdemir C., (2007). Investigation kinetics mechanisms of adsorption malachite green onto activated carbon, *J. Hazard. Mater.*, **146**, 194-203.
- [28] Bekci Z., Ozveri C., Seki Y., Yurdakoc K., (2008). Sorption of malachite green on chitosan bead, *J. Hazard. Mater.*, **154**, 254-261.
- [29] Ai L., Huang H., Chen Z., Wei X., Jiang J., (2010). Activated carbon/CoFe₂O₄ composites: Facile synthesis, magnetic performance and their potential application for the removal of malachite green from water. *Chemical Engineering Journal*, **156**, 243–249.

Tetrachloroethylene ve Peroksiasetik Asit ile Klasik ve Mikrodalga Enerji Kullanarak Kömürlerden Organik Desülfürizasyon

Sulphur Desulfurization from Coal with Tetrachloroethylene and Peroxyacetic Acid by Conventional and Microwave Heating

Selçuk Özgen^{1*}, Okyat Bayat²

¹ Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, ozgens@tki.gov.tr; ozgen_s@hotmail.com

² Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, obayat@cu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 6 Nisan 2020
Düzeltilme: 2 Temmuz 2020
Kabul: 3 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Desülfürizasyon, organik sülfür, kömür, mikrodalga, kimyasal liç

ÖZET

Kömürdeki en önemli sülfür formları piridik kükürt olarak adlandırılan sülfidler ve kömüre moleküler olarak bağlı olan organik sülfürlerdir. Piridik kükürt yeterli serbestleşme sağlanarak kömürden uzaklaştırılabilmesine rağmen organik sülfür moleküler olarak bağlı olduğu için kömürle birlikte hareket eder. Bu çalışmada tetrachloroethylene (C_2Cl_4) ve peroksiasetik asit ($C_2H_4O_3$) ile C-S bağları kırılarak organik sülfürün uzaklaştırılması araştırılmıştır. Ayrıca, hangi ısıtma tekniğinin daha avantajlı olduğunu belirlemek için organik kükürt uzaklaştırma deneylerinde klasik ve mikrodalga ısıtma kullanılmıştır. Çalışmalar kapsamında toplam kükürt içeriği %4,77 olan Çanakkale/Çan kömürleri kullanılmış ve %75,94 kükürt uzaklaştırma oranı (KUO) ile toplam kükürt içeriği %1,15'e düşürülmüştür. Nihai üründeki organik kükürt uzaklaştırma oranı (OKUO) ise %86,10 olarak hesaplanmış ve bu ürünün %0,51 organik kükürt içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca, mikrodalga ısıtmanın klasik ısıtma yöntemine göre çok kısa sürede daha fazla kükürt uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.715417

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 April 2020
Revised: 2 July 2020
Accepted: 3 July 2020

Keywords:

Desulfurization, organic sulfur, coal, microwave, chemical leaching

ABSTRACT

The most important forms of sulfur in coal are sulphides called pyridic sulfur and organic sulphides which are molecularly linked to coal. Pyritic sulfur can be removed from coal with enough liberation. Organic sulfur is molecularly linked to coal. So it is very difficult to remove. In this study, the removal of organic sulfur was investigated by breaking the C-S bonds with tetrachloroethylene (C_2Cl_4) and peroxyacetic acid ($C_2H_4O_3$). Also, classical and microwave heating was used in organic sulfur removal experiments to determine which heating technique is more advantageous. Çanakkale/Çan coals with a total sulfur content of 4.77% were used. With the sulfur removal rate (KUO) of 75.94%, the total sulfur content was reduced to 1.15%. The organic sulfur removal rate (OKUO) in the final product was calculated as 86.10%. This product contains 0.51% organic sulfur. In addition, it has been determined that microwave heating removes more sulfur in a very short time compared to classical heating method.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Selçuk ÖZGEN

✉ ozgens@tki.gov.tr; ozgen_s@hotmail.com

Giriş

Sanayileşmenin hızla artması enerji talebindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Artan talebi karşılamak için enerji tasarrufunu gerekli önemi vermek ve yenilenebilir enerji kaynağı olan linyitlerimizin kullanımını artırmak gerekmektedir. Ancak, yerli linyitlerimizin düşük ısıl değerli (%65'i 2000 kcal/kg'ın altında) ve yüksek kükürt içerikli (%1-5 S) olması, hava/çevre kirliliği ve dolayısıyla insan sağlığı açısından düşünüldüğünde termik santrallerde kullanımı zorlaşmaktadır [1-2]. Linyitlerin kalorifik değeri basit ve düşük maliyetli metotlar kullanılarak artırılabilmesine rağmen içerdiği kükürt çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu yüzden bazı durumlarda uzaklaştırılması bir zorunluluk haline gelmektedir.

Kömürde bulunan kükürt formları sülfidler, sülfatlar, organik sülfür ve elementel sülfür olarak dört gruba ayrılmasına rağmen en önemli kükürt formu sülfidler olarak adlandırılan pirit ve markasit gibi mineraller ile kömüre moleküler olarak bağlanmış organik sülfürlerdir [3]. Sülfidler olarak adlandırılan piritik sülfürler makul derecede serbestleşme sağlanarak gravite, manyetik veya fiziko-kimyasal ve kimyasal yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilir [4-6]. Organik kükürt ise moleküler olarak bağlı olduğu için fiziksel yada fiziko-kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılması imkansıza yakındır. Bu kükürt türünü uzaklaştırabilecek en etkin yöntemler kimyasal yöntemlerdir. Kimyasal yöntemlerde kullanılan kimyasal maddeleri ise asitler, bazlar, çözücüler, indirgeyici veya yükseltgeyiciler olabilmektedir [7-10].

Palmer vd. [11], oksidasyon yöntemiyle kömürden organik sülfürü uzaklaştırmaya çalışmışlardır. Bunun için kömür ile bir oksitleyici olan hidrojen peroksit (H_2O_2), perasedik asit ($C_2H_4O_3$), potasyum permanganat ($KMnO_4$) ve sodyum dikromatı ($Na_2Cr_2O_7$) kullanarak muamele etmişler ve daha sonra metanol (CH_4O) türü çözücüde organik kükürdü uzaklaştırmışlardır. Bu sayede organik ve inorganik sülfürün bir kısmını uzaklaştırmışlardır. Zhao vd. [12], asetik asit ($C_2H_4O_2$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) karışımlarını kullanarak kömürden organik

kükürdü oksitleyerek uzaklaştırmaya çalışmışlardır. En iyi sonucu -0,23mm tane boyutunda, 104 °C reaksiyon sıcaklığında 1 saat liç yaparak elde etmişlerdir. Bu şartlarda organik kükürdün %60,8'ini uzaklaştırmışlardır.

Jorjani vd. [13], %1,44 toplam kükürt içeren İran Tabas kömürlerinden piritik ve organik kükürdün uzaklaştırılmasında mikrodalga enerji ve peroksiasetik asiti (PAA) kullanmışlardır. Mikrodalga enerji süresi ve kimyasal konsantrasyonunun artışı ile bünyeden uzaklaştırılan kükürt miktarında arttığını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde piritik kükürdün büyük çoğunluğunun, toplam kükürdün ise %61,89'unun uzaklaştırılabildiğini belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar yaptıkları bir başka çalışmada aynı kömürleri kullanarak farklı oksidasyon yöntemleri (açık havada ve PAA ile oksidasyon) ve sodyum batoksitin etkileri araştırmışlardır. Bu çalışmalarında ise piritik kükürtte %84, organik kükürtte %49 ve toplam kükürtte %67 oranında uzaklaştırma sağladıklarını ifade etmişlerdir [14]. Benzer olarak Sönmez ve Giray [15]'da yüksek oranda kükürt içeren Çayırhan (%5,2) ve Gediz yöresi (%7,6) kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılması amacıyla peroksiasetik asit (PAA) kullanılmışlardır. Seçimli olarak kükürdü oksitleyebilen peroksiasetik asidin kullanılması ile yapılan bu çalışma ile Çayırhan linyitlerinden %80, Gediz yöresi linyitlerinden ise %40 oranında toplam kükürt uzaklaştırılabilmıştır. Jorjani ve arkadaşları [13] yaptığı başka bir çalışmada ise perasetik asit ile mikrodalgada kömürden sülfür uzaklaştırmaya çalışmışlar ve -0,3 mm tane boyutunda inorganik kükürdün maksimum %86,6'sını organik kükürdün %35'ini uzaklaştırmışlardır. Ahmed ve Rahim [16], ethanol (C_2H_6O), dimetilbenzen (C_8H_{10}), benzen (C_6H_6) ve piridin (C_5H_5N) gibi organik çözücüler ile Na_2CO_3 , KOH, Methanol (CH_4O), NaOH, Na_2SO_3 gibi inorganik çözücülerini organik kükürdün uzaklaştırılmasında kullanmışlardır. En iyi organik çözücü Etil alkol ve dimetilbenzenin 1:1 oranlarında karışımıyla elde etmişler ve kömürdeki organik kükürdün %67,20'sini uzaklaştırmışlardır. En iyi inorganik çözücü olarak ta NaOH'li belirlemişler ve organik kükürdün %67,20'sini uzaklaştırmışlardır. Zhao vd. [17],

tetrachloroethylene (C_2Cl_4) ile 0,074 mm boyutundaki sülfürlü kömürleri liç işlemine tabi tutmuşlar ve organik sülfürün %50,2'sini uzaklaştırmışlardır. Longjun vd. [18], 1-phrpyl alcohol (C_3H_8O) kullanarak kömürdeki organik kükürdün %42,29-60,70'ini uzaklaştırmışlardır. Mi vd. [19] tetrachloroethylene (C_2Cl_4) kullanarak kömürlerden kükürt uzaklaştırılmasını mikrodalga enerji ve ultrasonik dalga vererek araştırmışlardır. -0,1 mm tane boyutundaki kömürü 70 dakika ultrasonik dalga vererek ve 30 dakika 280 W mikrodalgada ısıtarak %51,6 sülfür uzaklaştırma sağlamışlardır. Mi ve Wei [20] yine ultrasonik ve mikrodalga enerjisi altında tetrachloroethylene kullanarak sülfür uzaklaştırmaya çalışmışlardır. Çalışmalarından önce kullanacakları kömürü HNO_3 ile muamele ederek inorganik kükürdün tamamını uzaklaştırmışlardır. İnorganik kükürdü uzaklaştırarak kullandıkları %0,94 organik sülfür içerikli kömürün 30 dakika boyunca yapılan liç işlem sonucunda %45 organik sülfür uzaklaşmıştır.

Ultrasonik ses dalgaları ve mikrodalga ısıtmanın kullanıldığı bir başka çalışmada Jie vd. [21] Çin kömür numunelerindeki kömürü oluşturan maseral grupları ayrı ayrı belirlemiş ve her bir maseralin içerdiği kükürt türleri (organik, piritik, sülfat) belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra peroksiasetik asit (PAA) ile ultrasonik ses dalgaları ve mikrodalga enerji yardımı ile kükürt uzaklaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile maseral grupları ve içerdikleri kükürdün uzaklaştırılma olanakları incelenmiş ve en kolay mineral madde inertinitten, en zor vitrinitten kükürt uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile %53,1 oranında kükürdün bünyeden uzaklaştırılabildiğini saptamışlardır.

Her ne kadar farklı araştırmacılar farklı kimyasal türleri ile bazı çalışmalar yapmış olsada ya yeterli kükürt uzaklaştırma sağlanamamış yada kullanılan yöntem ekonomik olmamıştır. Bu yüzden bu çalışmada klasik ısıtma ve mikrodalga ısıtmanın etkisi karşılıklı olarak araştırılmış ve avantajlı olan ısıtma tekniği ve kullanılan parametrelerin organik kükürt uzaklaştırmaya etkisi belirlenmiştir. Çalışmalarda Çanakkale/Çan kömürlerindeki organik kükürdün uzaklaştırılması için daha önceki çalışmalarda etkili olabilecekleri belirtilen tetrachloroethylene (C_2Cl_4) ve peroksiasetik asit ($C_2H_4O_3$) kullanılmıştır. Her iki kimyasal da her iki ısıtma tekniğinde kullanılarak optimum şartlar belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada kullanılan kömür numuneleri yüksek kükürt içeriğine sahip olduğu bilinen Çanakkale/Çan kömür sahalarından alınmıştır. Havada kuru olarak yapılan tam kömür analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kömürlerin Kül ve uçucu madde analizlerinde ASTM D 3174, kükürt analizlerinde ASTM D 4239, Nem analizlerinde TSE 690, farklı bazlarda analizlerin hesaplanmasında ise ISO 1170 ve ISO 1988 kullanılmıştır. Ayrıca organik kükürt hesaplamaları TS 329 ISO 157 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup toplam kükürt değerinden sülfat ve piritik kükürdün çıkarılması ile bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre deneylerde toplam kükürt içeriği %4,77 olan kömür numuneleri kullanılmış olup, bu numunelerin organik kükürt içeriği %3,67 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Numunelere ait kömür analizi

Kömür Analizi			Elementel Analiz			Kükürt Dağılımı		
Toplam Nem	%	2,28	Karbon	%	24,29	<i>Organic Sulphur</i>	%	3,67
Kül	%	54,98	Hidrojen	%	2,43	<i>Pyrite Sulphur</i>	%	0,41
Uçucu Madde	%	28,59	Azot	%	0,31	<i>Sulphate Sulphur</i>	%	0,69
Sabit Karbon	%	14,16	Oksijen	%	10,33			
Alt Isıl Değer	Kcal/kg	2.101	Toplam Kükürt	%	4,77			

Metot

Kömür Hazırlama

-100 mm tane boyutuna sahip olan kömür örnekleri önce çeneli kırıcı ile 1 cm altına kırılmış daha sonra çekiçli değirmen ile 0,5 mm tane boyutunun altına öğütülmüştür. Öğütülen kömür numuneleri standartlara uygun olarak bölünerek kurutulmuş ve kimyasal liç için hazır hale getirilmiştir.

Organik kükürt uzaklaştırma

Toplam kükürt içeriği %4,77, organik kükürt içeriği %3,67 olan kömür numunesinden tetrachloroethylene (C₂Cl₄) ve peroksiasetik asit (C₂H₄O₃) kullanılarak organik kükürt uzaklaştırılmaya çalışılmıştır.

Tetrachloroethylene (C₂Cl₄): TCE olarak isimlendirilen tetrachloroethylene, mükemmel bir organik madde çözücüdür. Uçuculuğu ve yanıcı olmayışı nedeniyle kuru temizlemede kullanılmaktadır. Kömürden özellikle organik kükürt uzaklaştırılmasında kullanılmış ve bu yolla organik kükürdün %50'ye yakını uzaklaştırılmış, ayrıca bir miktarda kül uzaklaştırdığı bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

Peroksiasetik asit (C₂H₄O₃): Kısaca PAA olarak isimlendirilen peroksiasetik asit, asetik asit (C₂H₄O₂) ile hidrojen peroksidin (H₂O₂) belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen bir asit türüdür. Peroksiasetik asit, kömür bünyesindeki kükürt türlerinin oksitlenmesini sağlayıp

çözülebilir yapıya dönüştürerek kömürden kükürt ve çeşitli kül yapıcı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan bir kimyasaldır. Peroksiasetik asidin organik kükürt türlerini selektif olarak oksitlemesi, bünyeden organik kükürdün uzaklaştırılmasında etkili olmakta, ancak uzaklaştırılan organik kükürt miktarı sınırlı seviyelerde kalmaktadır.

Kükürt uzaklaştırma deneyleri Çizelge 2'deki deney parametreleri kullanılarak hem klasik ısıtma hem de mikrodalga ısıtma teknikleri kullanılarak 250 cc beherlerde yapılmıştır. Klasik ısıtma yönteminde çözeltiyi ısıtmak için Wisd Wisestir marka MSH-20D model ısıtıcı manyetik karıştırıcı kullanılırken mikrodalga ısıtma tekniğinde Lab-Kits brand MW-ER-02 model ultrasonik/mikrodalga reaktör kullanılmıştır. Burada mikrodalga gücü ısıtma amacıyla kullanılmış, karıştırma amacıyla ultrasonik dalga uygulanmıştır. Her iki ısıtma tekniğinde de deney sonrası katı numune filtre edilerek ayrılmış, 3 kez saf su ile yıkandıktan sonra 100 °C'de 2 saat kurutulmuştur. Elde edilen kömür örneklerine toplam kükürt analizleri yapılarak toplam kükürt uzaklaştırma oranı (KUO) Denklem 1 ile hesaplanmıştır. Her deney için organik kükürt analizi yapılmamış olup en yüksek KUO elde edilen örneklerde organik kükürt analizleri yapılmıştır.

$$\text{Kükürt Uzak. Oranı (\%)} = \frac{K_F - K_C}{K_F} \times 100 \quad (1)$$

Burada; K_F : Beslemenin toplam kükürt içeriği (%), K_C : deney sonrası toplam kükürt içeriği (%)

Çizelge 2. Klasik ve Mikrodalga ısıtma test parametreleri.

Deney Türü	Bağımsız Değişken	Sembol	Alt Sınır	Üst Sınır
Klasik Isıtma	Kimyasal konsantrasyon (M)	KK	0.1	0.3
	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	S	30	90
	Reaksiyon süresi (dk)	Z	30	120
	Karıştırma hızı (rpm)	KH	600	1350
	Katı oranı (%)	KO	5	20
Mikrodalga Isıtma	Kimyasal konsantrasyon (M)	KK	0.1	0.3
	Reaksiyon süresi (dk)	Z	5	20
	Mikrodalga gücü (W)	MG	400	1200
	Katı oranı (%)	KO	5	20

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel yöntemler, gözlemlerden bilgi edinmek ve temsil eden sayılardan doğru anlamlar çıkarmak amacıyla, bir araya getirilen verilerin analizinde kullanılır. İstatistiksel deney tasarımının amacı minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri elde etmektir. Bundan dolayı deney tasarımı geleneksel yöntemlerden uzak ve araştırmalara yeni bir yaklaşım getirmektedir. Geleneksel deney tasarım yöntemlerinde yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman alması ve en önemlisi fazla sayıda analiz ile yüksek maliyetler oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemlerde her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutulmakta ve her seferinde farklı bir parametre denenmektedir. Bu şekilde hem deney sayısı artmakta hem de parametreler arası iç etkileşim gözardı edilmektedir. Bu yüzden geleneksel

yöntemlerle yapılacak çalışmalarda parametreler ve seviyeleri sınırlı sayıda tutulmakta ve sonuca ulaşmak zorlaşmaktadır.

Günümüzde hemen hemen her bilim dalında kullanılan istatistiksel deney tasarım yöntemleri, bu çalışma kapsamında yapılacak olan linyit kömürlerinden organik kökürdün uzaklaştırılmasında da kullanılmıştır. Deney tasarımı, merkezi kompozit tasarımı olan Box-Behnken deney tasarım yöntemi ile yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilerle kökür uzaklaştırmayı tanımlayan modeller üretilmiştir. Bu modeller yanıt yüzeyi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve optimizasyonu yanıt yüzeyi ile yapılmıştır. Deney tasarımı, yanıtların analizi, modelleme ve grafiklerin çizimi Minitab® 16 bilgisayar programı ile yapılmıştır. Çizelge 2’de verilen bağımsız değişken ve seviyeleri kullanılarak klasik ısıtma metodu için 46 deney-

Çizelge 3. Klasik ısıtma için deneysel kodlama.

Deney No	Bağımsız Değişken					Exp. No	Bağımsız Değişken				
	KK	S	Z	KH	KO		KK	S	Z	KH	KO
1	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0
2	0	1	0	1	0	25	0	0	0	0	0
3	0	-1	0	0	1	26	1	0	0	-1	0
4	0	-1	0	0	-1	27	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	0	28	-1	0	0	-1	0
6	0	1	1	0	0	29	0	0	0	0	0
7	0	-1	0	-1	0	30	1	0	0	0	-1
8	0	0	0	-1	1	31	0	0	1	0	-1
9	0	0	1	1	0	32	-1	0	0	1	0
10	0	-1	1	0	0	33	0	0	1	-1	0
11	-1	1	0	0	0	34	-1	0	1	0	0
12	0	1	0	-1	0	35	0	0	-1	-1	0
13	1	0	-1	0	0	36	0	0	0	1	-1
14	0	0	0	1	1	37	0	0	0	-1	-1
15	0	0	1	0	1	38	-1	-1	0	0	0
16	1	1	0	0	0	39	0	-1	-1	0	0
17	0	0	-1	1	0	40	-1	0	0	0	1
18	0	0	-1	0	-1	41	0	1	-1	0	0
19	0	1	0	0	1	42	1	0	0	1	0
20	0	-1	0	1	0	43	-1	0	0	0	-1
21	0	0	-1	0	1	44	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	-1	45	1	-1	0	0	0
23	1	0	0	0	1	46	-1	0	-1	0	0

Çizelge 4. Mikrodalga ısıtma için deneysel kodlama.

Deney No	Bağımsız Değişken				Deney No	Bağımsız Değişken			
	KK	Z	MG	KO		KK	Z	MG	KO
1	0	1	-1	0	15	-1	0	-1	0
2	-1	0	0	1	16	-1	1	0	0
3	-1	0	1	0	17	-1	-1	0	0
4	1	1	0	0	18	0	0	1	1
5	0	0	0	0	19	1	0	-1	0
6	1	-1	0	0	20	-1	0	0	-1
7	0	0	1	-1	21	0	1	1	0
8	0	-1	-1	0	22	1	0	1	0
9	1	0	0	1	23	0	-1	0	-1
10	0	0	0	0	24	0	1	0	1
11	0	-1	1	0	25	0	0	-1	1
12	0	0	0	0	26	0	1	0	-1
13	0	0	-1	-1	27	0	-1	0	1
14	1	0	0	-1					

-(6 merkez nokta), mikrodalga ısıtma için 27 deney (3 merkez nokta) belirlenmiş ve hazırlanan deney seti Çizelge 3 ve 4’de verilmiştir. Çizelge -1 bağımsız değişkenin minimum seviyesini, 1 maksimum seviyesini ve 0 ise orta seviyesini göstermektedir. Deneyler sonrasında elde edilen veriler ile Minitab® 16 yardımıyla kükürt uzaklaştırma oranını belirleyen 2. dereceden denklemler ve koralasyon katsayıları (R2) hesaplanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Klasik ısıtma yöntemiyle organik kükürt uzaklaştırma

Klasik ısıtma yöntemi ile tetrachloroethylene (TCE) ve peroksiasetik asit (PAA) kullanılarak yapılan 46 deney serisine ait sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre PAA ile en iyi sonuç Deney 45’de (Kimyasal kons.=%20; Sıcaklık=20 °C; Süre=75 dk; Karıştırma hızı=975 d/d; Katı oranı=%12,5) %56,01 KUO olarak elde edilirken, TCE ile en iyi sonuç Deney 16’da (Kimyasal kons.=%40; Sıcaklık=90 °C; Süre=75 dk; Karıştırma hızı=975 d/d; Katı oranı=%12,5) %71,08 KUO olarak elde edilmiştir. Ayrıca Çizelge 5’deki sonuçlar kullanılarak hazırlanan regrasyon modelleri ve katsayıları Çizelge 6’da verilmiştir.

Deneyler sonrasında en iyi sonucun elde edilen deneylerdeki kömür örneklerinin organik kükürt

uzaklaştırma oranlarını belirlemek için organik kükürt analizi yapılmıştır. PAA için 45 nolu deneyden elde edilen kömür örneği ve TCE için 16 nolu deneyden elde edilen kömür örneğine ait organik kükürt analiz sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi PAA kimyasalı kullanıldığında %56,01 toplam kükürt uzaklaştırma oranı (KUO) elde edilirken %67,90 organik kükürt uzaklaştırma oranı (OKUO) elde edilmiştir. TCE kimyasalında ise %71,08 KUO elde edilirken %83,55 OKUO elde edilmiştir. OKUO’larının KUO’ndan daha yüksek çıkması bu kimyasalların organik kükürde daha çok etki ettiğini göstermektedir.

Mikrodalga Isıtma Yöntemiyle Organik Kükürt Uzaklaştırma

Mikrodalga ısıtma yöntemi ile tetrachloroethylene (TCE) ve peroksiasetik asit (PAA) kullanılarak yapılan 27 deney serisine ait sonuçlar Çizelge 8’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre PAA ile en iyi sonuç Deney 13’de (Kimyasal kons.=%12,5; Süre=12,5 dk; Mikrodalga gücü=400 W; Katı oranı=%5) %62,97 KUO olarak elde edilirken, TCE ile en iyi sonuç Deney 22’de (Kimyasal kons.=%40; Süre=12,5 dk; Mikrodalga gücü=1200 W; Katı oranı=%12,5) %75,94 KUO olarak elde edilmiştir. Ayrıca Çizelge 8’deki sonuçlar kullanılarak hazırlanan regrasyon modelleri ve katsayıları Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 5. Klasik ısıtma yöntemi test sonuçları.

Sıra No	KUO		Sıra No	KUO		Sıra No	KUO	
	PAA	TCE		PAA	TCE		PAA	TCE
1	44,21	55,53	17	43,10	50,83	32	42,47	50,24
2	30,90	59,63	18	41,82	53,40	33	41,90	54,98
3	51,06	42,48	19	25,41	62,90	34	36,52	45,45
4	53,07	54,67	20	53,86	54,07	35	37,90	53,27
5	40,68	63,78	21	42,28	53,76	36	47,17	52,97
6	29,62	64,71	22	33,21	64,17	37	44,41	53,13
7	53,50	39,53	23	43,32	64,81	38	51,15	46,48
8	37,54	56,95	24	44,21	55,53	39	54,35	43,10
9	35,42	56,89	25	44,21	55,53	40	35,92	51,08
10	52,40	50,74	26	43,75	62,72	41	32,53	62,40
11	28,84	51,76	27	44,21	55,53	42	46,04	69,35
12	34,87	63,20	28	43,55	48,58	43	42,91	50,22
13	36,36	64,57	29	44,21	55,53	44	44,21	55,53
14	33,96	66,23	30	38,66	66,58	45	56,01	64,60
15	40,00	57,50	31	40,12	53,85	46	46,43	48,20
16	34,15	71,08						

Çizelge 6. Klasik ısıtmada kükürt uzaklaştırma oranı için 2.derece regrasyon modelleri ve katsayıları.

Kimyasal	Regrasyon Modeli	R ²
PAA	$32,67-1,25xKK -0,433xS +0,259xZ+0,033xKH+0,936xKO-0,0216xKK^2+5,565x10^{-4}xS^2-1,242x10^{-3}xZ^2-2,464x10^{-6}xKH^2-0,031xKO^2+0,0055xKKxS+0,010xKKxZ+8,88x10^{-5}xKKxKH+0,062xKKxKO-7,407x10^{-4}xSxZ-1,778x10^{-4}xSxKH-1,0867x10^{-2}xSxKO-2,073x10^{-4}xZxKH-7,405x10^{-4}xZxKO-7,11x10^{-4}xKHxKO$	91,93
TCE	$21,98-0,3641xKK +0,543xS +0,121xZ +0,005xKH-1,834xKO +0,012xKK^2-3,009x10^{-5}xS^2-7,36x10^{-4}xZ^2+6,815x10^{-8}xKH^2+0,015xKO^2+0,0008xKKxS+0,00074xKKxZ+0,0003xKKxKH-0,007xKKxKO-1,48x10^{-3}xSxZ-4,2x10^{-4}xSxKH+1,44x10^{-2}xSxKO+8,89x10^{-5}xZxKH+7,4x10^{-19}xZxKO+8,9x10^{-4}xKHxKO$	86,19

Çizelge 7. Klasik ısıtma yöntemi organik kükürt analiz sonuçları

Kimyasal	Besleme (%)		Temiz Kömür (%)			
	Toplam Kükürt	Organik Kükürt	Toplam Kükürt	KUO	Organik Kükürt	OKUO
PAA	4,77	3,67	2,09	56,01	1,21	67,90
TCE	4,77	3,67	1,38	71,08	0,62	83,55

Sonuçlar klasik ısıtma yöntemiyle karşılaştırılırsa PAA ile elde edilen en iyi sonuçlarda mikrodalga enerjisi kullanıldığında %7 daha fazla kükürt uzaklaştırılma oranı elde edilmiştir. TCE ile yapılan deneylerde en iyi sonuçlarda mikrodalga enerjisi kullanıldığında %5 daha fazla kükürt uzaklaştırılma oranı elde edilmiştir. Ayrıca mikrodalga enerjisi daha fazla

kükürt uzaklaştırmanın dışında zamandan ve dolayısıyla tüketilen enerjiden büyük avantaj sağlamaktadır. Klasik ısıtma yönteminde her iki kimyasal ile yapılan çalışmalarda optimum sonuçlar 75 dk'da elde edilirken mikrodalga ısıtma yönteminde 12,5 dk'da elde edilmektedir. Yani 6 kat daha kısa sürede daha yüksek kükürt uzaklaştırılma oranı elde edilmiştir.

Çizelge 8. Mikrodalga ısıtma yöntemi test sonuçları.

Sıra No	SRR		Sıra No	SRR		Sıra No	SRR	
	PAA	TCE		PAA	TCE		PAA	TCE
1	56,55	55,76	10	45,13	61,72	19	36,59	71,32
2	41,50	49,85	11	33,96	56,26	20	47,57	57,77
3	32,46	58,97	12	45,13	61,72	21	34,93	65,64
4	40,45	71,71	13	62,97	61,87	22	30,35	75,94
5	45,13	61,72	14	40,85	72,67	23	45,75	69,73
6	50,26	71,20	15	56,83	57,37	24	48,18	71,23
7	37,95	59,67	16	38,89	50,98	25	59,38	67,82
8	59,94	52,01	17	43,96	54,49	26	46,06	63,15
9	41,90	72,23	18	49,48	66,32	27	47,97	65,06

Çizelge 9. Mikrodalga ısıtmada kükürt uzaklaştırılma oranı için 2.derece regrasyon modelleri ve katsayıları

Kimyasal	Regrasyon Modeli	R ²
PAA	$106,49+0,206xKK-0,8xZ-9,27x10^{-2}xMG-3,1xKO-0,09xKK^2+0,004xZ^2-8,69x10^{-6}xMG^2+0,06xKO^2-0,02xKKxZ+2,08x10^{-3}xKKxMG+3,1x10^{-2}xKKxKO+7,52x10^{-4}xZxMG+8,76x10^{-3}xZxKO+1,65x10^{-3}xMGxKO$	77,07
TCE	$67,75-0,58xKK-1,04xZ+2,72x10^{-1}xMG-2,88xKO+1,17x10^{-2}xKK^2-1,56x10^{-2}xZ^2-3,75x10^{-3}xMG^2+0,062xKO^2+0,018xKKxZ+1,69x10^{-3}xKKxMG+2,67x10^{-2}xKKxKO+6,68x10^{-3}xZxMG+7,11x10^{-2}xZxKO-1,67x10^{-3}xMGxKO$	78,53

Klasik ısıtma yönteminde olduğu gibi mikrodalga ısıtma deneyleri sonrası en yüksek kükürt uzaklaştırma oranlarının elde edildiği deneylerdeki kömür örneklerinin organik kükürt uzaklaştırma oranlarını belirlemek için organik kükürt analizleri yapılmıştır. PAA için 13 nolu deneyden elde edilen kömür örneği ve TCE için 22 nolu deneyden elde edilen kömür örneğine ait organik kükürt analiz sonuçları Çizelge 10'da

verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi PAA kimyasalı kullanıldığında %62,97 toplam kükürt uzaklaştırma oranı (KUO) elde edilirken %69,75 organik kükürt uzaklaştırma oranı (OKUO) elde edilmiştir. TCE kimyasalında ise %75,94 KUO elde edilirken %86,10 OKUO elde edilmiştir. Görüldüğü gibi toplam kükürt oranı en yüksek elde edilen TCE ile organik kükürdün neredeyse tamamına yakını uzaklaştırılmıştır.

Çizelge 10. Mikrodalga ısıtma yöntemi organik kükürt analiz sonuçları.

Kimyasal	Besleme (%)		Temiz Kömür (%)			
	Toplam Kükürt	Organik Kükürt	Toplam Kükürt	KUO	Organik Kükürt	OKUO
PAA	4,77	3,67	1,77	62,97	1,11	69,75
TCE	4,77	3,67	1,15	75,94	0,51	86,10

Kükürt Uzaklaştırma Oranına Klasik Isıtma Değişkenlerinin Etkisi

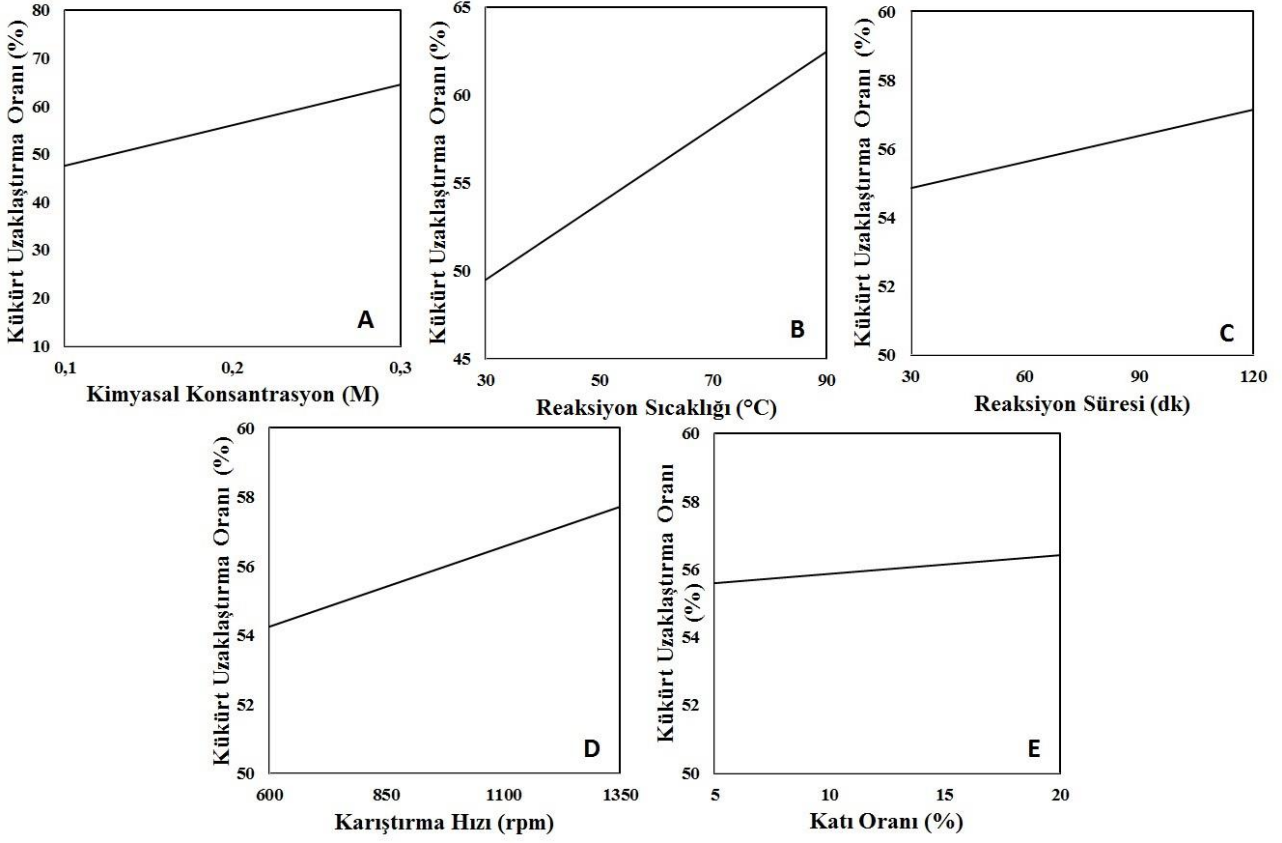
Sonuçların daha iyi anlaşılması ve kükürt uzaklaştırma oranına klasik ısıtma deneylerinde değişken parametrelerin etkisini görmek için en iyi KUO elde edilen tetrachloroethylene deneylerindeki sonuçlar kullanılarak iki boyutlu grafikler çizilmiştir (Şekil 1). Şekillerde klasik ısıtma deneylerindeki herbir değişkenin kükürt uzaklaştırma oranına etkisi karşılaştırılmıştır. Çizimler için diğer dört değişkenin orta seviyesi kullanılmıştır.

Şekil 1'den de görüldüğü gibi klasik ısıtma deneylerinde kullanılan bütün değişken parametrelerin kükürt uzaklaştırma oranına pozitif etkisi olmuştur. Ancak bu etki bazılarında sınırlı miktarda kalmıştır. Bir reaksiyonun en önemli parametrelerinden birisi kimyasal konsantrasyondur. Şekil 1A'da kimyasal konsantrasyonun etkisi görülmektedir. 0,1 M tetrachloroethylene kullanıldığında %50 civarında KUO elde edilirken 0,3 M'da %70 civarına ulaşmıştır. Yani yaklaşık %20 civarında bir artış elde edilmiştir. Kimyasal reaksiyon hızını değiştirebilecek bir diğer önemli parametre ise reaksiyon sıcaklığıdır. Şekil 1B'de ise reaksiyon sıcaklığının değişiminde KUO'nun

nasıl değiştiği görülmektedir. 30 °C'de %50 oranında KUO elde edilirken 90 °C'de bu oran %62'lere çıkmıştır. Diğer parametrelerden reaksiyon zamanı ise Şekil 1C'de görülmektedir. Burada ise ilk 30 dakikada KUO'nun %50 civarında elde edilirken 120 dakikada ancak %58'lere çıkabilmiştir. Yani gerçekleşen KUO'nun büyük kısmı ilk 30 dakika içerisinde gerçekleşmektedir. Diğer parametrelerden karıştırma hızı ve katı oranı da sırasıyla Şekil 1D ve 1E'de görülmektedir. Bu değişkenlerin diğer parametrelerde olduğu gibi dikkate değer bir etkisi olmamıştır.

Kükürt Uzaklaştırma Oranına Mikrodalga Isıtma Değişkenlerinin Etkisi

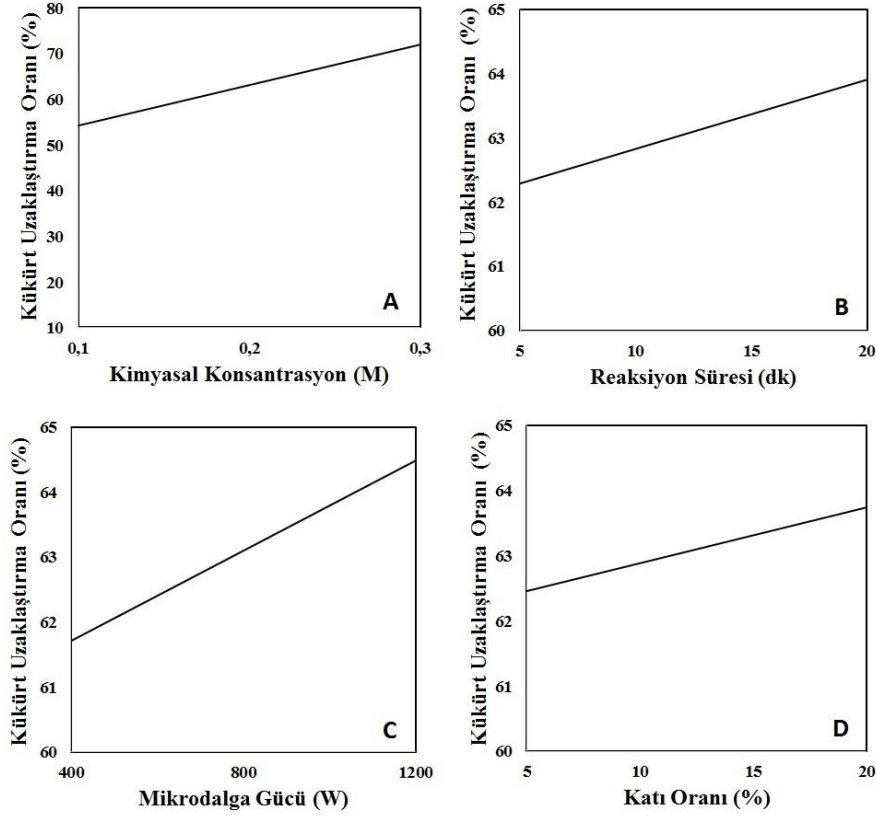
Klasik ısıtma deneylerinde olduğu gibi en iyi KUO elde edilen tetrachloroethylene deneylerindeki sonuçlar kullanılarak kükürt uzaklaştırma oranına mikrodalga ısıtma deneylerindeki değişken parametrelerin etkisini görmek için iki boyutlu grafikler çizilmiştir (Şekil 2). Şekillerde mikrodalga ısıtma deneylerindeki herbir değişkenin kükürt uzaklaştırma oranına etkisi karşılaştırılmıştır. Çizimler için diğer üç değişkenin orta seviyesi kullanılmıştır.



Şekil 1. Kükürt uzaklaştırma oranına klasik ısıtma değişkenlerinin etkisi.

Şekil 2'den de görüldüğü gibi bütün değişken parametrelerin kükürt uzaklaştırma oranına pozitif etkisi olmuştur. Bunlar içerisinde en dikkat çeken klasik ısıtma deneylerinde olduğu gibi kimyasal konsantrasyondur. Şekil 2A'daki kimyasal konsantrasyon etkisine bakıldığında KUO'nun %55'den %76'lara çıktığı görülmektedir. Diğer bir önemli parametre ise reaksiyon süresidir (Şekil 2B). Burada 5. Dakikada %62 lerde olan KUO'nun 20. dakikada %64'lere çıktığı görülmektedir.

KUO'nun önemli bir kısmının ilk 5 dakika içerisinde meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2C'deki mikrodalga gücünde de 400-1200 W arasındaki KUO değişimi görülmektedir. Burada da KUO %62-65 arasında değişim göstermiş olup en iyi sonuçlar 1200 W'ta elde edilmiştir. Diğer parametre ise Şekil 2D'de görülen katı oranıdır. Klasik ısıtmada olduğu gibi bu parametrenin de KUO'nda %1'lik bir değişim meydana getirmiştir.



Şekil 2. Kükürt uzaklaştırma oranına mikrodalga ısıtma değişkenlerinin etkisi

Sonuçlar

Bu çalışmada, 2 farklı kimyasal (tetrachloroethylene ve peroksiasetik asit) kullanarak kömürdeki kükürdün, özellikle de organik kükürdün uzaklaştırılması araştırılmıştır. Ayrıca klasik ısıtma ve mikrodalga ısıtma yöntemlerinin kükürt uzaklaştırmaya etkisinde belirlenmiştir. Isıtma yöntemlerinde optimum şartlar belirlenerek çalışma parametrelerin etkisini görmek için 2D grafikler çizilmiştir. Çalışmalarda, ülkemizdeki önemli kömür rezervlerine sahip Çanakkale/Çan bölgesine ait %4,77 toplam kükürt %3,67 organik kükürt içeren kömürler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek kükürt uzaklaştırma oranı tetrachloroethylene (TCE) kimyasalı ile elde edilmiş olup klasik ısıtma yönteminde toplam kükürt %1,38'e organik kükürt ise %0,62'ye düşürülmüştür. Mikrodalga ısıtma yönteminde ise toplam kükürt içeriği %1,15'e düşürülürken organik kükürt içeriği %0,51'e düşürülmüştür. Diğer bir değişle toplam kükürdün %75,94'ü, organik kükürdün ise %86,10'u

uzaklaştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda PAA ile %80 kükürt uzaklaştırma oranına ve TCE ile %53,1 kükürt uzaklaştırma oranına ulaşılmasına rağmen bu çalışmada daha iyi sonuçlar elde edilerek organik kükürdün %86,10'u uzaklaştırılmıştır. Bu farklılıkların en önemli nedeni kömür içerisindeki organik kükürdün türüdür. Bilindiği gibi organik kükürt kendi içinde alifatik, aromatik ve tiyofen kükürt olarak ayrılır. Bu durum kullanılan kimyasal ile tepkisini büyük ölçüde değiştirir. Aynı bölge kömürlerinde aynı kimyasallar kullanılarak farklı kükürt uzaklaştırma oranları elde etmek mümkündür.

Ayrıca, çalışmalar sonucunda mikrodalga ısıtmanın çok daha fazla kükürt uzaklaştırma sağladığı ve bunu klasik ısıtma yöntemine göre yaklaşık 1/6 reaksiyon süresinde gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu durumun enerji sarfiyatında çok ciddi tasarruf sağlayacağı açıktır. Ancak, çok ciddi oranda kükürt uzaklaştırılmış olması ve

bunu düşük enerji sarfiyatı kullanarak yapılmış olmasına rağmen bir kimyasal kullanılması çevresel bir takım sorunları beraberinde getirecektir. Bu yüzden sürecin devamlılığı ve sonuçların uygulanabilirliği için sonraki çalışmalarda geriye çıkan atık suyundan tetrachloroethylene kimyasalının ve kükürdün kazanılması araştırılmalıdır. Günümüz şartlarında kullanılması mümkün olmayan bu prosesin eksik yönleri tamamlandığında gelecekte kullanılabilecek bir yöntem olarak karşımıza çıkacaktır.

Kaynaklar

- [1] Ekinci, E., Tırıs, M. ve Okutan, H., (1994). Termik Santraller ve Emisyon Kontrolü, *Gökova Körfezi Çevre Sorunları ve Çevre Yöntemi Sempozyumu*, 28-30 Haziran, İzmir.
- [2] Çift, B.D., ve Okutan, H., (2010). Baca Gazı Desülfürizasyon Proseslerinin Ekonomik ve Teknik Analizi, *İTÜ Dergisi*, **9(4)**, 85-96.
- [3] Chakrabarti, J., (1978). Analytical procedures for sulfur in coal desulfurization products C.J. Karr (Eds) *Analytical Methods for Coal and Coal Products*, Academic Press, New York 279–323.
- [4] Leonard, J.W., (1979). Coal Preparation, *The American Institute of Mining and Metallurgy and Petroleum Engineers*.
- [5] Wills, B.A., (1988). Mineral Processing Technology, Pregamon Press, Oxford, 456p.
- [6] Göktepe, F., (2002). Kömür Flotasyonunda Bakteri İlavesinin Piritik Kükürt Uzaklaştırmasına Etkisi, *Türkiye 13. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 125-132.
- [7] Karaca, S., Akyürek, M., and Bayrakçeken, S., (2003). The Removal of Pyritic Sulfur from Askale Lignite in Aqueous Suspension by Nitric Acid, *Fuel Processing Technology*, **80**, 1-8.
- [8] Levent, M., Kaya, Ö., Kocakerim, M., Yiğit, V., and Küçük, Ö., (2007). Optimization of Desulphurization of Artvin-Yusufeli Lignite with Acidic Hydrogen Peroxide Solutions, *Fuel*, **86**, 983-992.
- [9] Alam, H.G., Moghaddam, A.Z, and Omidkhah, M.R., (2008). The Influence of Process Parameters on Desulfurization of Mezino Coal by HNO₃/HCl Leaching, *Fuel Processing Technology*, **90**, 1-7.
- [10] Demir, U., (2011). Kütahya-Gediz Yöresi Kömürlerindeki Kükürdün Uzaklaştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-*Doktora Tezi*, 277s.
- [11] Palmer, S.R., Hippo, E.J., and Liu, Y., (1995). Oxidative Pretreatments for the Enhanced Removal of Organic Sulfur from Coal, *Coal Science*, 1713-1716.
- [12] Zhao, J.L., Zhang, Y.Y., Chen, Q., and Fu, Q., (2002). Study on Removal of Organic Sulfur from Coal by Glacial Acetic Acid-Hydrogen Peroxide Oxidation Process, *Environ Prot Chem Ind.*, **22(5)**, 249-253.
- [13] Jorjani, E., Rezai, B., Vossoughi, M., and Osanloo, M., (2004). Desulfurization of Tabas Coal with Microwave Irradiation/Peroxyacetic Acid Washing at 25, 55 and 85 °C, *Fuel*, **83**, 943-949.
- [14] Jorjani, E., Rezai, B., Vossoughi, M., Osanloo, M., and Abdollahi, M., (2004). Oxidation pretreatment for Enhancing Desulfurization of Coal with Sodium Butoxide, *Minerals Engineering*, **17**, 545-552.
- [15] Sönmez, Ö., and Giray, E.S., (2001). The Influence of Process Parameters on Desulphurization of Two Turkish Lignite by Selective Oxidation, *Fuel Processing Technology*, **70**, 159-169.
- [16] Ahmed, M., and Rahim, A., (1995). Chemical Desulphurization Methods of Organic Sulphur of Eocene Coal, *Coal Science*, 1721-1724.
- [17] Zhao, J.L., Zhang, Y.Y., Wang, H.W., and Chen, Q.Y., (2002). Desulfurization of High Organic Sulfur Coal by Tetrachloroethylene Extraction under Ultrasonic Field, *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, **30(3)**, 234-237.
- [18] Longjun X., Dejun Z., and Yujuan C., (2006). Study on Removal of Organic Sulfur From Coal by 1-Phrypyl Alcohol, *Coal Convers*, **29(4)**, 13-6.
- [19] Mi, J., Ren, J., Wang, J.C., Bao, W.R., and Xie, K.C., (2007). Ultrasonic and Microwave Desulfurization of Coal in Tetrachloroethylene, *Energy Sources Part A*, **29**, 1261-1268.
- [20] Mi, J., and Wei, R., (2011). Microwave Applied in Coal Desulfurization Process, *Applied Mechanics and Materials*, **71-78**, 2122-2126.
- [21] Jie, M., Jiancheng, W., Jun, R., Weiren, B., Yongqing, Y., Kechang, X., (2008). Study on Forms of Sulfur in NW Coal and Behavior of Desulfurization. *2nd International Bioinformtics and Biomedical Engineering confesans*, 4633-4636.



Van Gölü Doğal Sediment ve Modifiye Sediment Üzerine Krom (III) Adsorpsiyonu (İzoterm ve Termodinamik Analiz Çalışması)

Chrome (III) Adsorption On Van Lake Natural Sediment and Modified Sediment (Isotherm and Thermodynamic Analysis Study)

İhsan Alacabey^{1,2*}, Ali Rıza Kul², M. Şakir Ece¹, Hüseyin Alkan³

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Mardin

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Van

³ Dicle Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Diyarbakır

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 02 Mayıs 2020
Düzeltilme: 18 Mayıs 2020
Kabul: 23 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Adsorpsiyon, krom, sediment, termodinamik, adsorpsiyon izotermi

ÖZET

Sediment, nehirlerin, göllerin, koyların, haliçlerin ve okyanusların tabanında yer alan yeryüzü katmanıdır. Dünyanın en büyük soda gölü olması, eşine rastlanmayacak büyüklükte ve güzellikte dipten yükselen güncel karbonat sütunları içermesi ve su seviyesinde yaşanan değişimler, Van Gölü'nü dünyanın en ilginç göllerinden biri yapar. Bu çalışmada Van Gölünden alınan doğal sediment ve asitle (HNO₃) aktive edilmiş sedimentlerin ağır metal (Cr³⁺) ile ilişkisi batch adsorpsiyon tekniği kullanılarak saptanmaya çalışılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki krom (Cr³⁺) iyonlarının ve pH'nin adsorpsiyon prosesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) ve Temkin adsorpsiyon izotermi hesaplanmıştır. Hem doğal sediment (DS) hem de asitle modifiye edilmiş sedimentin (MS) Langmuir adsorpsiyon izoterm modeline uyum sağladığı bulunmuştur. Bununla birlikte hem doğal adsorbent hem de asitle modifiye edilmiş adsorbentin termodinamik parametreleri hesaplanmış, $\Delta G^\circ < 0$ değerinin adsorpsiyon prosenin kendiliğinden gerçekleştiğini göstermiştir. Doğal sedimentin yüzey alanı 7.512 m²/g, asit ile aktive edilmiş sedimentin yüzey alanı 79.456 m²/g tespit edilmiş olup aktivasyon işlemi ile çok yüksek bir yüzey alanı elde edilmiştir. Giles adsorpsiyon izoterm sistemine göre H tipi eğriye uyduğu görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.731216

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2 May 2020
Revised: 18 May 2020
Accepted: 23 May 2020

Keywords:

Adsorption, chromium, sediment, thermodynamics, adsorption isotherms

ABSTRACT

Sediment is the earth layer located at the base of rivers, lakes, bays, estuaries and oceans. The fact that it is the largest soda lake in the world, it contains up-to-date carbonate columns, rising from the bottom of unprecedented size and beauty, and changes in the water level make Van Lake one of the fascinating lakes in the world. In this study, the relationship between natural sediment and acid (HNO₃) activated sediments taken from Van Lake with heavy metal (Cr³⁺) was tried to be determined by using batch adsorption technique. The effects of chromium (Cr³⁺) ions and pH at different concentrations on the adsorption process were investigated. Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) and Temkin adsorption isotherms were calculated. Both natural sediment (DS) and acid-modified sediment (MS) were found to conform to the Langmuir adsorption isotherm model. However, both the natural adsorbent and the acid-modified adsorbent thermodynamic parameters were calculated, showing that the $\Delta G^\circ < 0$ value adsorption process occurred automatically. The surface area of the natural sediment is 7.512 m²/g, and the surface area of the acid-activated sediment is 79.456 m²/g and a very high surface area has been obtained by the activation process. According to Giles adsorption isotherm system, it was observed that it fits the type H curve.

* Sorumlu yazar / Correspondence

İhsan ALACABEY

✉ ihsanalacabey@hotmail.com

Giriş

Suyun ağır metallerle kirlenmesi, küresel sanayileşmeyle birlikte büyüyen önemli bir çevre ve sağlık sorunudur. Tarım aktiviteleri, yakıt ve enerji endüstrileri, metal endüstrisi, ağır metal kirliliğinin ana kaynaklarıdır. Ayrıca ağır metaller, yer kabuğunda doğal olarak bulunmaktadır. Ağır metal kirliliği, atık yönetiminin olmaması durumunda insan ve çevre için yıkıcı sonuçlar doğurabilir. Krom ağır metallerdendir ve elektrokaplama ve metal işleme endüstrileri tarafından atık suyuna karışmaktadır. Cr^{3+} yiyecek, içme suyu ve hava yoluyla küçük bir miktara kadar insan vücuduna girerler [1]. Endüstrinin pek çok dalında hammaddelerin işlenmesinde kullanılan, çoğu toksik ve kanserojen özellikleri olan ağır metallerin atık suları, çevre kirliliğinin önemli unsurlarındandır.

Vücudumuz için diyetle eser miktarda alınması gerekli elementlerden biri Cr^{3+} iyonlarıdır. Kromun diğer formları için vücudumuzun ihtiyacı yoktur [2]. Eser element seviyesinin değişmesi, insanlarda sağlık problemleri gösterebilir [3].

Endüstriyel proseslerden suya karışan Cr^{3+} ; tehlikeli su kirleticisidir [4-14]. Cr^{3+} , cilt alerjilerine ve kansere neden olmaktadır [6, 15]. EPA'nın Cr^{3+} için izin verilen limiti içme suyunda 0.1 ppm'i geçmemelidir [6, 16].

Sağlığa zararlı ağır metal iyonları, bilinen fizikokimyasal yöntemlerle atık sudan uzaklaştırılabilir [17]. Çevre kirliliğine neden olan ve insan sağlığına zarar veren inorganik ve organik atıkların giderilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemler membran filtrasyonu, kimyasal çöktürme, iyon değişimi, koagülasyon ve adsorpsiyonu içermektedir [17-19]. Adsorpsiyon, sulu çözeltilerden ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada Van Gölünden alınan Doğal sediment (DS) ve asitle aktive edilmiş sediment [Modifiye sediment (MS)], ile sentetik sulardan Cr^{3+} iyonu adsorpsiyonunun izoterm ve termodinamik analiz çalışmaları yapılmıştır.

Materyal Metod

Doğal Adsorbentin Hazırlanması (NS)

Doğal adsorbent olarak kullanılan sediment (dip çamuru), Van Gölü'nün 35-40 metre derinliğinde "orange peel bucket" örnekleyicisi

(portakal kabuğu kepeği) ile alınmıştır. Doğal adsorbent oda sıcaklığında kendiliğinden kuruması sağlanmıştır.

Modifiye Adsorbentin Hazırlanması (MS)

Reaktöre konulan 50 g DS üzerine yavaş yavaş 250 ml 5N HNO_3 çözeltisi eklenmiş ve kaynama sıcaklığında (yaklaşık $105^{\circ}C$) sürekli karıştırılarak 3 saat bekletilmiştir. Reaksiyon ürünleri süzülüş ve 20 kez distile su ile yıkanarak asit artıkları uzaklaştırılmıştır. Son yıkamada örnek, santrifüj edildikten sonra etüvde $60^{\circ}C$ 'de 48 saat süreyle nemin uzaklaştırılması için bekletilmiştir. Örnek bir porselen havanda ezilerek, kurutma sırasında oluşan topaklanmalar öğütülmüş ve 235 mesh elekten geçirilerek desikatörde saklanmıştır.

Adsorpsiyon Deneyle (Konsantrasyon, pH, Sıcaklık)

DS ve MS numuneleri önce $105^{\circ}C$ 'de kurutulmuş 235 meshlik elekten geçirilmiştir. Deneylelerden önce tüm plastik ve cam gereçler standart metotlara göre 1 + 1'lik HNO_3 çözeltisi ile yıkanmıştır [20]. Bu numunelerin farklı konsantrasyonlardaki Cr^{3+} iyonu 298 K, 303 K ve 313 K'deki sıcaklıklarda, çözeltiden adsorpsiyonu 5 farklı derişim (10, 25, 50, 75, 100 ppm) ve 5 farklı pH (2, 4, 6, 8, 10) değeri ile çalışılmıştır ve istenilen pH'ı elde etmek için nitrik asit (HNO_3) ve NaOH kullanılmıştır. Her bir deneme de 1 g adsorbente karşılık derişimleri ve pH'ları ayarlanmış 250 ml $Cr(NO_3)_3$ çözeltisi erlen içersine alınmıştır. Daha sonra termostatlı su banyosuna yerleştirilmiştir, sıcaklık sabit tutulup, mekanik karıştırıcılar yardımıyla, karıştırma hızı sabit tutularak, 120 dakika adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon süresi bittikten sonra süzme işlemi gerçekleştirilmiş ve sonrasında çözeltide kalan ağır metal miktarı atomik adsorpsiyon spektroskopisi (AAS) ile okutulup veriler alınarak adsorpsiyon izoterm parametreleri ile adsorpsiyon termodinamik parametreleri hesaplanmıştır.

Batch adsorpsiyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada birim adsorbent (q_e) başına adsorbe edilen Cr^{3+} iyonunun miktarı eşitlik 1 ile hesaplanmıştır [21]:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Yüzde adsorpsiyon hesaplaması eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır [22]:

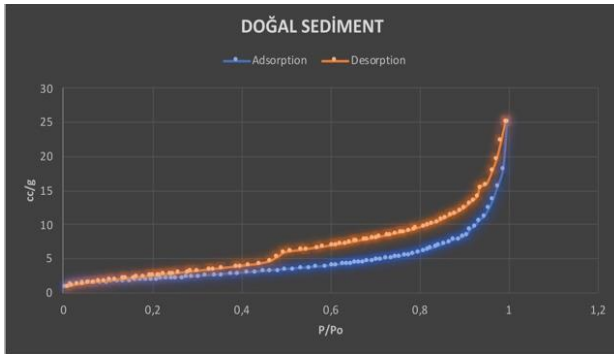
$$\text{Yüzde Adsorbe} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

C_i : çözültideki Cr^{3+} iyonu başlangıç konsantrasyonudur (mg/L); C_e : çözültinin denge derişimi Cr^{3+} iyonu konsantrasyonu (mg/L); V : çözültinin hacmidir (L) ve m : sedimentin ağırlığıdır (g).

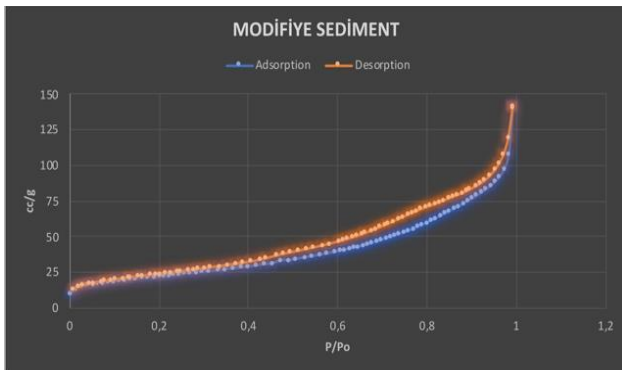
Sonuçlar ve Tartışma

DS ve MS'in Karakterizasyonu

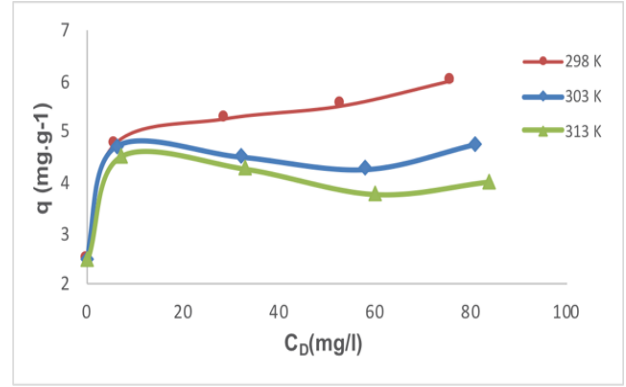
DS ve MS'lerinin spesifik yüzey alanın BET karakterizasyonda sırasıyla 7.512 m²/g ve 79.456 m²/g olarak bulunmuştur. DS ve MS'lerinin yüzey analiz izotermi incelendiğinde MS'lerinin spesifik yüzey alanındaki bu artış, asit ile modifikasyon işleminde karbonat grupları karbondioksit olarak parçalanıp ortamdan ayrılmasından kaynaklanmaktadır. DS ve MS adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi Şekil 1 ve Şekil 2' de görülmektedir. IUPAC sınıflandırmasına göre Şekil 1 ve Şekil 2' de gösterildiği gibi hem DS hem de MS, tip IIb olduğu tespit edilmiştir [23].



Şekil 1. DS'nin adsorpsiyon ve desorpsiyon izoterm grafiği



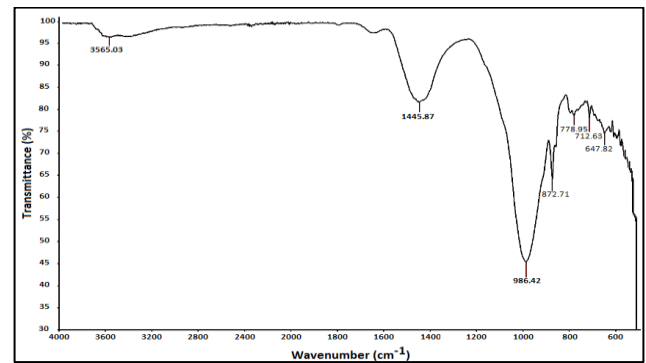
Şekil 2. MS'nin adsorpsiyon ve desorpsiyon izoterm grafiği



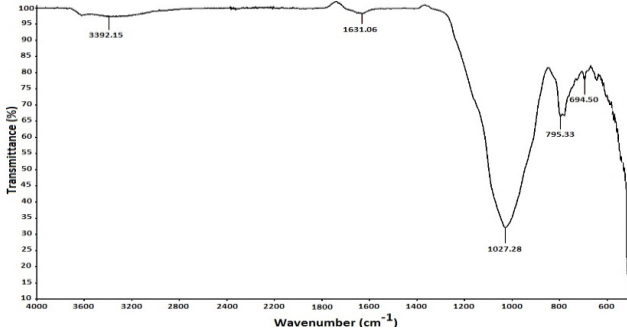
Şekil 3. Cr^{3+} için Giles izotermi

Giles izotermine göre C_D (mg/L) değerlerinin q (mg/g) değerlerine karşı çizilen grafik, 4 ana sınıfta incelenmektedir. Giles bunları S, L, H ve C tipi eğri olarak sınıflandırmıştır. Bu çalışmada Gilese izotermine göre H tipi eğriye uyduğu tespit edilmiştir. L tipi eğrinin özel bir durumu olan H tipi eğri; çözülmüş maddenin seyreltik derişimlerinde ya tamamen adsorplanır ya da çözültide ölçülemeyecek kadar az miktarda kaldığını gösterir [24, 25].

Şekil 4'de verilen DS'nin FTIR spektrumu incelendiğinde 1445.87 cm⁻¹ piki karbonata ait olduğu görülmektedir. Sedimentin ağırlıklı olarak mineral karbonatlardan meydana geldiği ifade edilebilir. 3565-3300 cm⁻¹ arasında bulunan pik sedimentin yapısına bağlı olan H₂O daki O-H esneme bandıdır. Silikat yapısında bulunan Si-O titreşimine ait pikler ise 950 cm⁻¹ ve 1100 cm⁻¹ deki piklerdir. 875 cm⁻¹ deki pikde sedimentin yapısında bulunan karbonatlardan kaynaklanmaktadır. Şekil 5'de verilen MS'nin FTIR spektrumu incelendiğinde asit işlemine tabi tutulan örneklerde yapıdaki karbonatlar parçalanıp CO₂ olarak ortamdan ayrıldığından doğal yapıdaki karbonata ait pikler yok olmuştur.

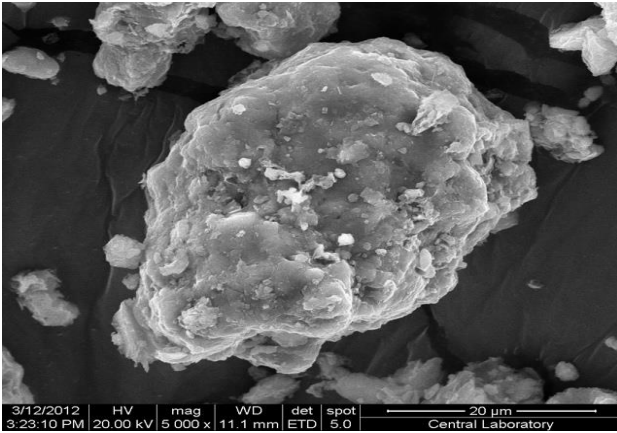


Şekil 4. DS'nin FTIR spektrumu

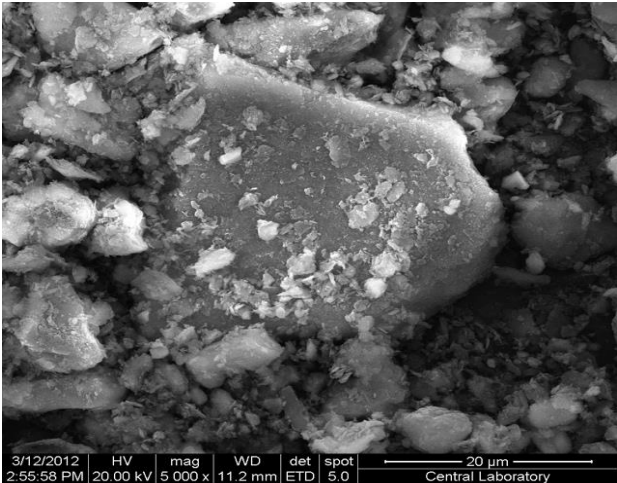


Şekil 5. MS'nin FTIR spektrumu

DS ve MS'nin yapısının SEM Görüntüleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmiştir. DS yüzeyi modifikasyondan sonra küme formları ile kaplandığı Şekil 7' de görülmektedir. Küme boyutları, bir ile birkaç mikrometre arasında değişir.



Şekil 6. DS'nin SEM Mikrofotografı



Şekil 7. MS'nin SEM Mikrofotografı

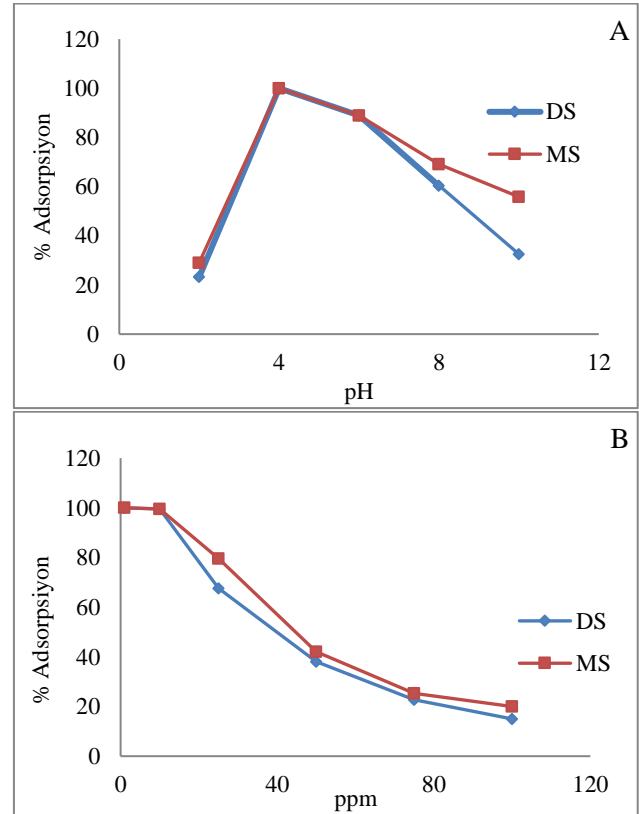
PH değerinin etkisi

Hem DS'nin hem de MS'nin için Çözeltilerin pH'sı bazık bölgede adsorpsiyonun azaldığı Şekil 8.A'da görülmektedir. Çünkü çözelti pH'ı,

hem adsorbanın yüzeyindeki bağlanma bölgelerini hem fonksiyonel grupları hem de adsorbat türlerinin yük profillerini etkilemekte ve bunun sonucu olarak da adsorban ve adsorbat türleri arasındaki etkileşimlere neden olmaktadır [26]. Bu azalma kullandığımız adsorbentin bazık karakterli olduğunu göstermektedir.

Konsantrasyonun Etkisi

DS'in ve MS'in sırasıyla Cr³⁺ iyonunun 10.0-100.0 ppm aralığındaki farklı çözeltilerin adsorpsiyon kapasitesine derişimin etkileri Şekil 8.B'de gösterilmiştir. En yüksek adsorpsiyonu MS'nin sağladığı tespit edilmiştir. Bu farklılık ağır metal adsorpsiyonunun MS'nin negatif uçların artmasıyla DS'e göre adsorpsiyon değerinin arttığı, derişimin artmasıyla % adsorpsiyonun düşmesinden ve düşük derişimde maksimum adsorpsiyon sağlamasından kaynaklanmaktadır. Çünkü derişim arttıkça metal iyonları hem hidratlaşma da hem de kümelenmede artış göstereceğinden serbest iyon olarak veya küçük hidratları halinde bulunamaz.



Şekil 8. A) DS ve MS'nin Cr³⁺ iyonlarının adsorpsiyonuna pH'nın etkisi (C: 25 ppm, T:298 K), B) DS ve MS'nin Cr³⁺ iyonlarının adsorpsiyonuna konsantrasyonun etkisi [pH:4, T1: 298K]

İzoterm Çalışmaları

Sulu çözümlerde kalan Cr^{3+} iyonlarının ve adsorbe olan Cr^{3+} iyonlarının arasındaki dengeyi tanımlamak için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modelleri uygulandı.

Langmuir izoterminin lineer denklemi eşitlik 3'te verilmiştir [27].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

C_e (mg/L) denge konsantrasyonudur, q_e (mg/g) dengedeki adsorpsiyon miktarıdır, q_m (mg/g) maksimum adsorpsiyon kapasitesidir, b (L/mg) adsorpsiyon denge sabitidir [28].

Freundlich izoterminin lineer denklemi eşitlik 4'te verilmiştir [29].

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

K_F kabaca adsorpsiyon kapasitesinin bir göstergesidir ve n adsorpsiyon şiddetidir.

Temkin izoterminin lineer denklemi eşitlik 5'te verilmiştir [30].

$$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e, \quad B = (RT)/b \quad (5)$$

K_T (L/mg) Temkin izoterm sabitini ve b (kJ/mol) adsorpsiyon ısı ile ilgili bilgi veren Temkin sabitidir.

Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermi eşitlik 6,7,8 kullanılarak hesaplanmıştır [22].

$$\ln q_e = \ln q_m - k \varepsilon^2 \quad (6)$$

burada, q_e birim sediment başına çıkarılmış ağır metal miktarıdır (mg/g), q_m D-R adsorpsiyon kapasitesidir (mg/g), k adsorpsiyon enerjisi ile ilgili sabittir (mol^2/kJ^2), ε Polanyi potansiyelidir (kJ/mol), R gaz sabitidir ($\text{kJ}/\text{K}^2\text{mol}^2$) ve sıcaklık (K) T 'dir.

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (7)$$

$$E = (2k)^{-1/2} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de verilen Adsorpsiyon enerjisi E (kJ/mol), adsorpsiyonun kimyasal, iyon değişimi veya fiziksel adsorpsiyon gibi adsorpsiyon mekanizması hakkında hakkında bilgi verir [31]. E değerinin büyüklüğü 8 ile 16 kJ/mol arasında yer alması, sorpsiyon işlemi iyon değişimi mekanizması üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir, $E > 16$ kJ/mol değerleri için ise

sorpsiyon mekanizması kimyasal etkileşim ile açıklanabilir [22].

Termodinamik Çalışmalar

Adsorpsiyon tipinin belirlenmesi için adsorpsiyon entalpisi (ΔH°), adsorpsiyon entropisi (ΔS°) ve Gibbs serbest entalpisi (ΔG°) termodinamik açıdan önemli bir yer tutmaktadır. Bu nicelikler sırayla eşitlik (9), (10), (11), (12)'den yararlanılarak hesaplanmıştır [22].

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (9)$$

Burada ΔG° Serbest enerji değişimi, Gibbs serbest enerjidir (kJ/mol), ΔH° Entalpi değişimidir (kJ/mol), ΔS° Entropi değişimidir (kJ/molK), T sıcaklıktır (Kelvin).

Adsorpsiyon prosesinde Gibbs serbest enerjisini hesaplanması için K_c , eşitlik 10 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$K_c = C_a / C_e \quad (10)$$

K_c Denge sabitidir, C_a sediment tarafından tutulan madde konsantrasyonudur (mg/L), C_e Çözeltide kalan madde konsantrasyonudur (mg/L).

K_c 'nin, başlangıç madde konsantrasyonlarına (C_0) karşı çizilen grafiğin kesim noktasından bulunan K_c° değeri, Eşitlik 11'de K_c° değeri yerine yazılırsa adsorpsiyonun Gibbs serbest enerjisi bulunur. Adsorpsiyon işleminin kendiliğindenlik derecesi Gibbs serbest enerjisi tarafından belirlenir [32].

$$\Delta G^\circ = -R T \ln K_c^\circ \quad (11)$$

$$\ln K_c^\circ = \frac{\Delta S^\circ - \Delta H^\circ}{R} \times \frac{1}{T} \quad (12)$$

R Gaz sabitidir ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Eşitlik 12 kullanılarak, $\ln K_c^\circ$ değerinin $1/T$ değerine karşı çizilen grafiğin eğiminden ΔH° ve kesim noktasından da ΔS° hesaplanmaktadır.

Hem DS'leri hem de MS'leri üzerindeki uygun pH'daki (pH=4) Cr^{3+} 'ün farklı sıcaklıklardaki (298 K, 303 K ve 313 K) adsorpsiyonu için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm parametreleri uygulanmıştır. Langmuir izoterm sabitleri pH:4, $T_3=313$ Cr^{3+} iyonlarının DS üzerindeki adsorpsiyonunun korelasyon faktörü $R^2 = 0.9948$ olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlarda Freundlich izoterm sabitlerinin hesaplanması için çizilen eğrilerde Cr^{3+} iyonunun DS üzerindeki

adsorpsiyonunun korelasyon faktörü $R^2 = 0.6254$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Dubinin-

Radushkevich (D-R) adsorpsiyon izoterminden elde edilen sonuçlara göre; MS monomolekül

Tablo 1. Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm parametreleri A; DS- Cr^{3+} pH:4. B; MS- Cr^{3+} pH:4

T(K)	Langmuir			Freundlich			Temkin			Dubinin-Radushkevich (D-R)				
	b (L/mg)	q_m (mg/g)	R^2	n	K_F (mg/g)	R^2	b (kJ/mol)	K_T (L/mg)	R^2	q_m (mol/g)	k_{D-R} (mol ² /kJ ²)	E (kJ/mol)	R^2	
A	298	0.4443	3.8168	0.9901	14.056	3.2486	0.7455	1.6970	0.0019	0.6830	0.0825	2.4944	16.7	0.8774
	303	0.4812	3.6127	0.9856	15.6595	3.1376	0.6685	1.6617	0.0028	0.6090	0.0778	2.5534	17.1	0.8390
	313	0.4787	3.5162	0.9948	18.180	3.1791	0.6254	1.6224	0.0026	0.5510	0.0764	2.5724	19.6	0.8140
B	298	0.5527	5.9453	0.9952	8.5562	1.7440	0.9862	2.2670	0.0005	0.9892	0.1062	2.2422	13.6	0.9739
	303	1.5522	4.6083	0.9940	11.6144	1.6856	0.8301	1.8297	0.0013	0.8059	0.0893	2.4158	15.1	0.9507
	313	1.6431	3.9063	0.9968	14.4718	1.6504	0.6691	1.8863	0.0027	0.6007	0.0804	2.5209	16.0	0.8639

adsorpsiyon kapasitesini arttırdığı Tablo 1’den anlaşılmaktadır.

Tablo 1’de Cr^{3+} ve iyonlarının DS’i üzerine adsorpsiyonunda E değerinin 16 kJ/mol’den daha büyük olmasından tutulmanın kimyasal olduğu saptanmıştır. Buna karşın MS’nin Cr^{3+} ve iyonlarının E değerinin 8-16 kJ/mol değerleri arasında yer almasından adsorpsiyonun ağırlıklı olarak iyon değişimi olduğu saptanmıştır.

Tablo 2. Adsorpsiyonu için hesaplanan termodinamik parametreler A; DS- Cr^{3+} pH:4. B; MS- Cr^{3+} pH:4

	Sıcaklık (K)	K_c^0 , Sabit	ΔG^0 , kJ/mol	ΔH^0 , kJ/mol	ΔS^0 , kJ/mol
A	298	122.39	-11.9102	-15.7850	0.0915
	303	87.554	-11.2662		
	318	152.9	-13.0889		
	303	204.19	-13.3994		
	318	204.35	-13.8437		
B	298	122.87	-11.9199	28.9144	-0.0575
	303	87.957	-11.2778		
	318	68.388	-10.9952		
	303	309.01	-14.4432		
	318	206.78	-13.8745		

Sonuçlar

Adsorpsiyon veriminin, çözelti pH’ı, ağır metal iyonlarının konsantrasyonu ve sıcaklıkla değiştiği gözlenmiştir. Adsorpsiyonun yaklaşık 120 dakikada dengeye ulaştığı tespit edilmiştir. Çözeltinin pH’ı bazik olduğunda adsorpsiyonun azalması kullandığımız adsorbentin bazik

karakterli olmasından kaynaklanmıştır. Cr^{3+} iyonlarının adsorpsiyonunun pH=4.0’de maksimum olduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon verimliliklerine bakıldığında Cr^{3+} iyonlarının MS üzerine adsorpsiyonu DS’den daha fazla adsorbe ettiği gözlenmiştir.

MS’nin içindeki kil minerallerinin kristal yapısından uzaklaşan Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} gibi iyonların boşalan yerlerinde ortaya çıkan mikro ve mezo-gözeneklerden dolayı özgül gözenek hacmi ve bu gözeneklerin duvarlarından dolayı ise özgül yüzey alanı yükselmiştir [33]. DS’nin yüzey alanı 7.512 m²/g olarak belirlenmiştir. MS’nin BET yüzey alanları belirlendiğinde; Kimyasal olarak HNO₃ seçildiğinde ise MS yeterince yüksek yüzey alanı (79.456 m²/g) elde edilmiştir.

DS’lerinin ve MS’lerinin Cr^{3+} iyonlarının adsorpsiyon verilerinin Langmuir izoterm denkleminde daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur, bu sonuç adsorpsiyonun tek tabakalı ve homojen olduğunu göstermektedir.

DS ile Cr^{3+} iyonlarının uzaklaştırılmasında hesaplanan termodinamik parametrelerden ΔH^0 negatif bulunması prosesin ekzotermik olduğunu göstermektedir [34]. ΔS^0 değerinin pozitif bulunması adsorpsiyon sırasında Cr^{3+} iyonları çözeltisi ile DS arayüzeyinde düzensizliğinin arttığını göstermektedir. Ayrıca MS için pozitif değerli ΔH^0 prosesin endotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin negatif bulunması adsorpsiyon sırasında Cr^{3+} iyonlarının çözeltisi ve MS katı – çözelti arayüzeyinde düzensizliğinin azaldığını göstermektedir [35].

Hem DS hem de MS için Gibbs serbest enalpisi ΔG^0 değerlerinin negatif bulunması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ifade eder (Tablo2). Asit ile aktivasyon prosesinde, aktivasyonun gerçekleşmesi sebebiyle doğal malzemeye göre yüksek yüzey alanı ve gözenekliliğe sahip katı ürün elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2010 – FBE – D126 nolu proje ile desteklenmiştir, finansal yönden destekleyen Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

1. Atasoy, N., et al., *Levels of heavy metals and certain macro elements in potable and tap water at Van city center*. Hacettepe J. Biol. & Chem, 2011. **39**: p. 391-396.
2. Alacabey, İ., *Bazı ağır metallerin (kobalt, krom, kadmiyum) doğal ve aktive edilmiş Çaldıran Diatomiti (Çaldıran/Van) üzerindeki adsorpsiyon denge çalışmaları*. 2006, Yüksek Lisans Tezi.
3. Alacabey, İ., et al., *Determination of Cobalt (Co) level in hair and serum of Gas Station Workers in Van Province*. J Environ Sci Toxicol Food Technol, 2017. **11**(2): p. 30-32.
4. Chwastowska, J., et al., *Speciation of chromium in mineral waters and salinas by solid-phase extraction and graphite furnace atomic absorption spectrometry*. Talanta, 2005. **66**(5): p. 1345-1349.
5. Karthikeyan, T., S. Rajgopal, and L.R. Miranda, *Chromium (VI) adsorption from aqueous solution by Hevea Brasilinesis sawdust activated carbon*. Journal of hazardous materials, 2005. **124**(1-3): p. 192-199.
6. Wei, X., et al., *Adsorption behaviors of atrazine and Cr (III) onto different activated carbons in single and co-solute systems*. Powder Technology, 2018. **329**: p. 207-216.
7. Godinho, D., et al., *Adding value to gasification and co-pyrolysis chars as removal agents of Cr³⁺*. Journal of hazardous materials, 2017. **321**: p. 173-182.
8. Di Natale, F., et al., *Removal of chromium ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon and char*. Journal of Hazardous Materials, 2007. **145**(3): p. 381-390.
9. Derya, H., *Tekirdağ ilinde bulunan bazı ahırlardan toplanan olgunlaşmış ve olgunlaşmamış gübrelerin besin elementi içeriklerinin belirlenmesi ve tarımsal açıdan değerlendirilmesi*. 2013, Namık Kemal Üniversitesi.
10. Anderson, R.A., *Chromium and insulin resistance*. Nutrition research reviews, 2003. **16**(2): p. 267-275.
11. Adriá-Cerezo, D., M. Llobat-Estellés, and A. Mauri-Aucejo, *Preconcentration and speciation of chromium in waters using solid-phase extraction and atomic absorption spectrometry*. Talanta, 2000. **51**(3): p. 531-536.
12. Agarwal, G., H.K. Bhuptawat, and S. Chaudhari, *Biosorption of aqueous chromium (VI) by Tamarindus indica seeds*. Bioresource technology, 2006. **97**(7): p. 949-956.
13. Dubey, S.P. and K. Gopal, *Adsorption of chromium (VI) on low cost adsorbents derived from agricultural waste material: a comparative study*. Journal of hazardous materials, 2007. **145**(3): p. 465-470.
14. Hsu, L., et al., *The removal and recovery of Cr (VI) by Li/Al layered double hydroxide (LDH)*. Journal of Hazardous Materials, 2007. **142**(1-2): p. 242-249.
15. Kotaś, J. and Z. Stasicka, *Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation*. Environmental pollution, 2000. **107**(3): p. 263-283.
16. Lingamdinne, L.P., et al., *Biogenic reductive preparation of magnetic inverse spinel iron oxide nanoparticles for the adsorption removal of heavy metals*. Chemical Engineering Journal, 2017. **307**: p. 74-84.
17. Lin, S.-H. and R.-S. Juang, *Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite*. Journal of Hazardous Materials, 2002. **92**(3): p. 315-326.
18. Bhattacharyya, K.G. and S.S. Gupta, *Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium*. Applied Clay Science, 2008. **41**(1-2): p. 1-9.

19. Tural, S., M.Ş. Ece, and B. Tural, *Synthesis of novel magnetic nano-sorbent functionalized with N-methyl-D-glucamine by click chemistry and removal of boron with magnetic separation method*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018. **162**: p. 245-252.
20. APHA, A., *WEF Standard methods for the examination of water and wastewater* Washington, DC, USA: American Public Health Association, 1995. **19th ed.**
21. Erol, K., *The adsorption of calmoduline via nicotinamide immobilized poly (HEMA-GMA) cryogels*. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 2017. **4(1)**: p. 133-148.
22. Alacabey, İ., *Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çukuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonun İzoterm ve Termodinamik Analizi, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2014.
23. Sawant, S.Y., R.S. Somani, and H.C. Bajaj, *A solvothermal-reduction method for the production of horn shaped multi-wall carbon nanotubes*. *Carbon*, 2010. **48(3)**: p. 668-672.
24. Giles, C., et al., *786. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids*. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 1960: p. 3973-3993.
25. MAHAMANLIOĞLU, M., İ. KIZILÇIKLI, and A. ÇINARLI, *BAZİK BOYAR MADDELERİN AĞAÇLI KÖMÜRLERİNDE ELDE EDİLEN AKTİF KARBON ÜZERİNDE ADSORPSİYONU*. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2006. **21(3)**: p. 21-32.
26. Krishnan, K.A., A. Sheela, and T. Anirudhan, *Kinetic and equilibrium modeling of liquid-phase adsorption of lead and lead chelates on activated carbons*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 2003. **78(6)**: p. 642-653.
27. Erol, K., *DNA adsorption via Co (II) immobilized cryogels*. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 2016. **53(10)**: p. 629-635.
28. Zhao, X., et al., *A green method to synthesize flowerlike Fe (OH) 3 microspheres for enhanced adsorption performance toward organic and heavy metal pollutants*. *Journal of Environmental Sciences*, 2018.
29. Erol, K., et al., *Magnetic diatomite for pesticide removal from aqueous solution via hydrophobic interactions*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. **26(32)**: p. 33631-33641.
30. Riza, K.A., et al., *Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of nickel adsorption onto natural and modified kaolinites*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2011. **20(5)**: p. 1155-1166.
31. Caliskan, N., et al., *Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study*. *Journal of hazardous materials*, 2011. **193**: p. 27-36.
32. Depci, T., et al., *Characteristic properties of adsorbed catalase onto activated carbon based adiyaman lignite*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2011. **20(9a)**: p. 2373-2380.
33. Yalçın, E., *Bentonitik killer üzerinde etilen glikol monoetil eter adsorpsiyonu*. 2010, Ankara Üniversitesi.
34. Alkan, S., et al., *Polifenol Oksidaz Enziminin Aktif Karbonla Adsorpsiyonunun İzoterm ve Kinetik Analizi*. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2014. **3(1)**: p. 69-78.
35. Kul, A.R., İ. Alacabey, and N. Çalışkan Kılıç, *Removal of Cobalt Ions from Aqueous Solution by Diatomite*. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 2010. **38(2)**: p. 85-93.

Kromit Tesis Atıklarının Knelson ve Falcon Konsantratör ile Zenginleştirilmesi

Enrichment of Chromite Processing Plant Tailing with Knelson and Falcon Concentrator

Selçuk Özgen^{1*}

¹ Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, ozgens@tki.gov.tr; ozgen_s@hotmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 5 Mayıs 2020
Düzeltilme: 15 Temmuz 2020
Kabul: 20 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Kromit atığı, Falcon konsantratör,
Knelson konsantratör,
Zenginleştirme

ÖZET

Bu çalışmada, Fethiye/Üçköprü krom zenginleştirme tesis atıklarının zenginleştirilmesi falcon ve knelson konsantratör ile araştırılmıştır. Çalışmalar kapsamında Falcon ve Knelson Konsantratörlerin çalışma parametrelerinden santrifüj kuvvet, yıkama suyu basıncı ve besleme hızının kromit zenginleştirmeye etkisi de araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; %13,27 Cr₂O₃ içeren kromit atığından falcon konsantratör ile yapılan çalışmalarda en iyi sonuçlar 120 kg.m/s² G kuvveti, 3 psi yıkama suyu basıncı ve 1 lpm besleme hızında %67,25 verim ve %43,89 Cr₂O₃ tenörle elde edilmiştir. Knelson konsantratör ile yapılan çalışmalarda ise en iyi sonuçlar 100 kg.m/s² G kuvveti, 4 psi yıkama suyu basıncı ve 1 lpm besleme hızında %72,51 verim ve %47,32 Cr₂O₃ tenörle elde edilmiştir. Bu sayede kromit atıkları oldukça yüksek bir verim ile satılabilir ürüne dönüştürülerek ekonomiye kazandırılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.801648

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 May 2020
Revised: 15 July 2020
Accepted: 20 July 2020

Keywords:

Chromite waste, Falcon
concentrator, Knelson
concentrator, Enrichment

ABSTRACT

This situation causes an increase in the ore preparation plant's wastes. In this study, enrichment of Fethiye / Üçköprü chromite processing plant tailing were investigated with falcon and knelson concentrator. In the studies, the working parameters of Falcon and Knelson Concentrators were examined. These parameters are; centrifugal force, wash water pressure and feed rate. In experimental studies, chromite waste containing 13.27% Cr₂O₃ was used. The best results in the studies with the falcon concentrator were obtained at 120 kg.m / s² G force, 3 psi wash water pressure and 1 lpm feed rate. In this experiment, 67.25% recovery and 43.89% Cr₂O₃ tenor were obtained. In studies with Knelson concentrator, the best results were obtained at 100 kg.m/s² G force, 4 psi wash water pressure and 1 lpm feed rate. In this experiment, 72.51% recovery and 47.32% Cr₂O₃ tenor were obtained. In this way, chromite tailing are transformed into salable products with a high efficiency and brought into the economy.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Selçuk ÖZGEN

✉ ozgens@tki.gov.tr; ozgen_s@hotmail.com

Giriş

Endüstriden önemli bir yere sahip olan krom, bakır, alüminyum ve demirden sonra en çok kullanılan metaldir. Endüstrinin hızla gelişmesi bu metallerin kullanımı ve üretimini de hızla artırmış, buna paralel olarak cevher hazırlama atıklarının artmasına neden olmuştur. Bu durum hem çevresel problemleri beraberinde getirmiş hem de milli israfa yol açmıştır. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler tesis atıklarının yeniden değerlendirilmesini gündeme getirmiştir. Kromit tesisi atıklarının da önemli miktarda krom içermesi dikkatleri üzerine çekmiştir.

Genel olarak kromit minerali fiziksel, fiziko-kimyasal ve/veya manyetik ayırıcılar ile zenginleştirilebilmesine rağmen kromit tesisi atığı yüksek oranda şlam yani çok ince boyutlu malzeme içermesinden dolayı zenginleştirilmesinde çeşitli problemler çıkabilmektedir. Eskibalcı vd. [1] %18,74 Cr₂O₃ tenörlü Kavak krom konsantratör tesisi atığını MGS ile zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Zenginleştirme sonucunda %64,42 verim ile %47 Cr₂O₃ tenörlü konsantre üretmeyi başarmışlardır. Önal vd. [2] yaptıkları çalışmalarında Kavak ve Fethiye krom atıklarının yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile zenginleştirilmesini araştırmışlardır. %25,5 Cr₂O₃ tenörlü Fethiye atığından %32,73 Cr₂O₃ tenörlü ön konsantreyi %89,84 verimle, %16,37 Cr₂O₃ tenörlü Fethiye atığından %21,27 Cr₂O₃ tenörlü ön konsantreyi %78,50 verimle elde etmişlerdir. Aydın [3] Kef konsantre tesisi atıklarının zenginleştirilmesini araştırmış ve ilk aşamada sallantılı masa ile %34,08 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %90 verim ile, ikinci aşamada manyetik zenginleştirme ile %45,21 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %87,46 verim ile elde etmiştir. Özkan ve İpekoğlu [4], Üçköprü %25,20 Cr₂O₃ tenörlü konsantre tesis atıklarının geri kazanım konusunda araştırmışlardır. -38 mikron tane boyutundaki tesis artıkları Multi gravite seperatör ile zenginleştirilmiş ve %72,0 verimle %47,0 Cr₂O₃ olan konsantre elde etmişlerdir.

Başka bir araştırmacı ise sallantılı masa ve MGS ile %13,76 Cr₂O₃ tenörlü Kavak krom konsantre tesisi atığını zenginleştirmeye çalışmıştır [5]. -300 mikron tane boyutunda MGS ile yaptığı

zenginleştirme sonucunda %23,02 Cr₂O₃ tenörlü konsantreyi %68,35 verimle elde etmiştir. Farklı gravite zenginleştirme cihazları ile yapılan bir başka çalışmada ise düşük tenörlü kromit cevheri kullanılmıştır [6]. Çalışma kapsamında %18,62 Cr₂O₃ tenörlü cevherin MGS, Falcon ve Knelson konsantratörle zenginleştirilebilmesi araştırılmıştır. En iyi sonuçlara falcon konsantratör ile ulaşıırken %57,73 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %63,95 verimle elde edilmiştir.

Rath vd. [7], Odisha Mining Co.'a ait kromit zenginleştirme tesisi artıklarını SB-40 tipi Falcon gravimetrik ayırıcı ile zenginleştirilmesini araştırmışlardır. %68,00'i -11 mikron olan %20,23 Cr₂O₃ içerikli artıktan %68'in üzerinde bir verimle %40'tan fazla Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir. Kıyak [8], %5 Cr₂O₃ içerikli Bursa Orhaneli Kromit zenginleştirme tesis atıklarının zenginleştirme olanaklarını Knelson santrifüj ayırıcısı ile araştırmıştır. -212+75, -75+38 ve -38 µm tane boyutlarında ayrı ayrı besleme yaparak %22,00 Cr₂O₃ tenörle ve %75 verimle kromit konsantresi elde etmiştir. Bozkurt [9], krom artıklarının geri kazanımında Knelson santrifüj ayırıcısının etkilerini araştırmıştır. Yaptığı çalışmada, %2,28 Cr₂O₃ tenörlü artıktan -212 mikron tane boyutunda, %73,18 verimle %21,5 Cr₂O₃ tenörlü ön konsantre elde etmiştir.

Kromit atıklarının zenginleştirilmesiyle ilgili çalışmalarda özellikle son yıllarda gelişmiş gravite cihazlarının kullanımı artmış ve etkili olduğu görülmüştür. Ülkemizin önemli krom yataklarının bulunduğu Fethiye/Üçköprü bölgesinde yaklaşık 3 milyon ton %9-20 Cr₂O₃ tenörlü ve 1,2 milyon ton %13-14 Cr₂O₃ tenörlü krom zenginleştirme tesis atığı bulunmaktadır [10]. Literatür taramalarında bu atıkların ekonomiye kazandırılması için çok çalışma bulunmamakta olup ileri gravite cihazlarından MGS (Multi gravite seperatör) ile yapılmış bir çalışmada %48,18 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %69,79 tenör ile elde edilmiştir [10]. Bu çalışmada ise Fethiye/Üçköprü krom zenginleştirme tesis atığının zenginleştirilmesi falcon ve knelson zenginleştirme cihazları ile araştırılmıştır. Bu kapsamda her iki cihaz kullanılarak optimum şartlar belirlenmiş ve çalışma parametreleri ortaya konmuştur.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada Üçköprü (Fethiye/Muğla) krom konsantre tesisinden temin edilen ince kromit atıkları kullanılmıştır. TSE Standartlarına uygun olarak atık havuzunun çeşitli yerlerinden temin edilen yaklaşık 500 kg kromit atığı homojen olarak karıştırılarak 0,5 mm'den elenmiştir. Çalışmalarda 0,5mm altı tane boyutundaki kromit atıkları kullanılmış olup bu atıkların boyut dağılımları ve %Cr₂O₃ içeriği Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi atığın büyük kısmı 38 mikron altında olup, ortalama %13,27 Cr₂O₃ içermektedir. 0,5 mm üstü malzemeler ise alternatif zenginleştirme yöntemlerinde değerlendirmek üzere ayrılmıştır.

Çizelge 1. Tane boyutuna bağlı Cr₂O₃ dağılımı.

Tane Boyutu (µm)	Miktar (%)	Cr ₂ O ₃ (%)
-500+300	11,96	10,28
-300+106	15,65	11,12
-106+38	23,14	12,14
-38	49,25	15,21
Toplam	100	13,27

Metot

Kromit atığının hazırlanması

Üçköprü kromit konsantre tesisinden temin edilen kromit atıklarının tamamı 0,5 mm'den elenerek kurutulmuştur. Falcon ve Knelson konsantratör zenginleştirme işlemlerinde -0,5 mm boyutundaki kısım kullanılmış ve herhangi bir kırma/öğütme yapılmamıştır. Çalışmalarda kullanılan akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Falcon ve Knelson Konsantratörler

Son yıllarda gravite metotlarındaki gelişmelere bağlı olarak üretilen yüksek santrifüj etkili cihazlardan olan iki farklı zenginleştirme ekipmanı falcon ve knelson konsantratörler kullanılmıştır (Şekil 2).

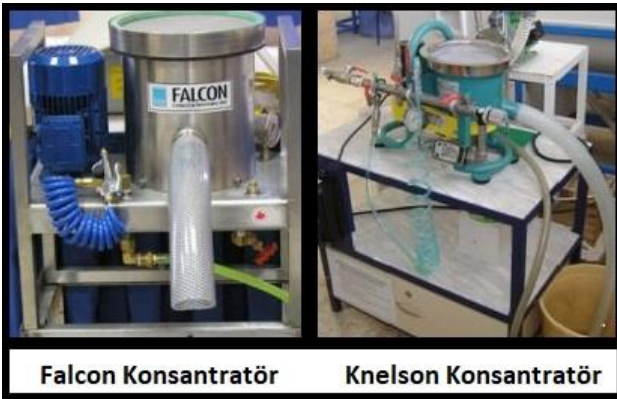


Şekil 1. Deneysel akım şeması.

Falcon Konsantratör, Vancouver'da Falcon Concentrator Company tarafından üretilmiştir. Falcon konsantratörü, yüksek merkezkaç kuvveti oluşturabilen gravite separatördür. Ürün beslemesi, hızla dönen iç koniğe yapılır ve bu malzeme pervane aracılığıyla ivmelendirilerek koniğin çevresi boyunca hareket eder. Hareket eden koniğin üst kısmı bir alıkonma zonu olarak işlem görürken dip kısmı hareket zonu sağlamak için belli bir açıda eğimlidir. Daha güçlü merkezkaç kuvvetler hareket zonundaki tanenin tabakalaşmasını ve çökmesini engelleyecek şekilde etki yapar. Hafif taneler düşük özgül ağırlıkları ya da küçük boyutlarından dolayı koniğin dışına doğru hareket eder. Ağır taneler ise konsantrasyon (alıkonma) zonunda kalarak yıkama suyuyla birlikte yıkanarak temiz konsantre üretilir [11]. Hem laboratuvar ölçekli hem de ticari ölçekli çalışmalarda demir, kalay, titanyum ve altın cevherleri gibi yoğunluğu yüksek minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Üç çeşit falcon konsantratör mevcuttur: SB-40 (Semi-Continuous), C (Continuous) ve UF (kesikli ve çok ince taneli cevherler). Bu cihazlar 300 G kadar santrifüj kuvvet üreterek 10 mikrona kadar küçük taneciklerin zenginleştirilmesini sağlar. Bu çalışmada SB-40 yarı kesikli modeli kullanılmıştır. Falcon SB'ye çalışmalar sırasında devamlı olarak besleme yapılabildiği fakat yalnızca periodik olarak hazne yıkama esnasında konsantre üretilbildiği için yarı kesikli cihazlar denir. Bu konsantratörler yerçekiminin 50 katından 200 katına kadar santrifüj kuvvet üretebilmektedir.

Knelson Konsantratör, Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada'da patenti alınmıştır. Dünyada damar tipi ve alüvyon altın üretiminde kullanım alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür [12]. Knelson

konsantratör, dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üst kısımdan beslenen malzeme içerisindeki ağır taneler santrifüj kuvvetinin etkisiyle konsantrasyon olarak yatağın oluklarına takılır. Besleme içerisindeki gang mineralleri ise atık olarak üst akışıyla birlikte atılır. Malzeme beslemesi, knelson konsantratörünün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla yapılmaktadır. Yapılan besleme %0-70 katı yoğunluğunda olabilir. Haznenin alt kısmında beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur [13]. İlk üretilen knelson konsantratörler yerçekimi ivmesinin ortalama 60 katı kadar bir santrifüj kuvveti oluşturabilmektedir [14]. Sonraki modeller yerçekimi kuvvetinin 200 katına kadar çıkabilmektedir. Falcon konsantratörde olduğu gibi sürekli (Continuous) ve yarı kesikli (Semi-Continuous) modelleri mevcuttur. Bu çalışmada da 65 ml sepet kapasitesi bulunan KC-MD3 yarı kesikli modeli kullanılmıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan falcon ve knelson konsantratörleri.

Kromit Zenginleştirme

Zenginleştirme deneyleri öncesi -0,5 mm elenen kromit atığı 20 lt tank içerisine %20 katı oranı olacak şekilde hazırlanmıştır. Bütün deneyler sabit katı oranında yapılmıştır. Falcon ve knelson konsantratör deneylerinde aynı değişkenler kullanılmıştır. Bunlar; G kuvveti (G), yıkama suyu basıncı (P) ve besleme hızıdır (H). Deneylerde kullanılan bu değişkenlere ait seviyeler Çizelge 2’de verilmiştir.

Falcon ve Knelson konsantratörleri, önceden belirlenmiş G kuvveti ve yıkama suyu basıncında dengeye ulaşana kadar besleme yapılmadan

çalıştırılmıştır. Sistem dengeye ulaştıktan sonra, önceden hazırlanan % 20 katı oranındaki pülp belirlenen besleme hızında konsantratörlere beslenmiştir. Bütün besleme tamamlandıktan sonra yıkama suyu 15 saniye daha devam etmiştir. Parametreler ayrı ayrı optimize edilmiştir. Bir parametre optimize edilirken diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu şekilde bir seri deney yapılmış ve deney sonunda konsantrasyon ve atık ayrı ayrı alınarak kromit analizleri yapılmıştır.

Çizelge 2. Falcon ve knelson konsantratör deney parametreleri.

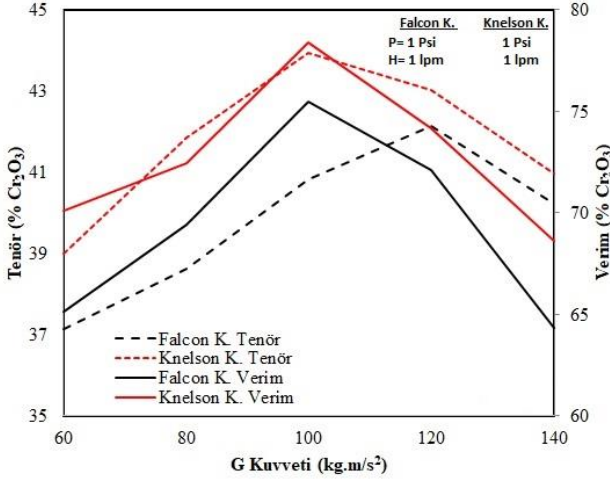
Parametre	Birim	Seviyeler
G Kuvveti (G)	kg.m/s ²	60-80-100-120-140
Yıkama Suyu Basıncı (P)	Psi	1-2-3-4-5
Besleme Hızı (H)	lpm	1-2-3-4-5

Sonuçlar ve Tartışma

Kromit zenginleştirmeye G kuvvetinin etkisi

Falcon ve Knelson konsantratörlerinin en önemli özelliklerinden biri olan merkezkaç kuvveti, ince ve ultra ince tanelerin yoğunluk farkından yararlanarak süspansiyondaki çökelme hızlarını artırmasıdır. Bu şekilde, yan minerallerden daha yüksek özgül ağırlığa sahip kromit minerallerinin zenginleştirilmesi sağlanır. G kuvvetinin etkisini belirlemek için yıkama suyu basıncı 1 psi’de ve besleme hızı 1 lpm sabit tutularak bir seri deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde G kuvveti 60-80-100-120-140 kg.m/s² olarak değiştirilmiştir. Farklı G kuvveti ile elde edilen sonuçlar, Şekil 3’de verilmektedir. Şekil 3’den görülebileceği gibi, falcon konsantratör deneylerinde en yüksek tenör 120 kg.m/s²’de %42,15 Cr₂O₃ olarak elde edilirken, knelson konsantratörde en yüksek tenör 100 kg.m/s²’de %43,95 Cr₂O₃ olarak elde edilmiştir. Aynı deneylerde %Cr₂O₃ verimi falcon konsantratör için %72,12, knelson konsantratör için %78,41 elde edilmiştir. En yüksek tenörlerin elde edildiği deneyler optimum nokta olarak kabul edilmiş ve sonraki deneylerde bu G kuvveti kullanılmıştır. Daha yüksek G kuvvetlerinde tenör ve verimde düşüşler gözlenmiştir. Bunun nedeninin G kuvveti arttıkça bağlı tanelerin de toplama haznesinde kalmaya başlaması ve bazı

tanelerin ise oluşan yatakla birlikte dışarıya taşınması olduğu düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan model yarı kesikli olduğu için haznede dolmalara rastlamak mümkündür. Sürekli sistemde yapılan çalışmalarda buna benzer verim ve tenör düşüşleri görülmeyebilir.

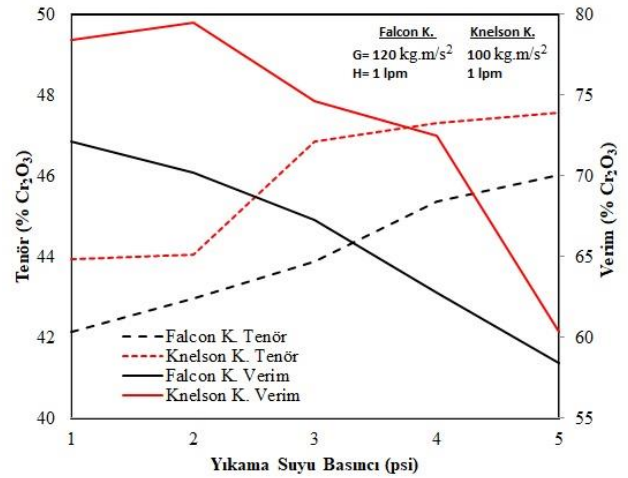


Şekil 3. G kuvvetinin kromit zenginleştirmeye etkisi.

Kromit zenginleştirmeye yıkama suyu basıncının etkisi

Falcon ve Knelson konsantratörlerde yıkama suyu basıncının iki önemli etkisi vardır. Birincisi, aşağıdan yukarıya doğru akışkan bir yatak oluşturmaktır. Bu yatak sayesinde hafif özgül ağırlığa sahip mineraller taşarak dışarıya alınır. İkincisi ise hafif yoğunluklu minerallerin daha ağır yoğunluklu minerallerin arasında sıkışması önlenir. Böylece daha temiz konsantreler elde edilebilir. Yıkama suyu basıncının etkisini belirlemek için G kuvveti ve besleme hızı sabit tutularak bir seri deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde yıkama suyu basıncı 1-2-3-4-5 psi olarak değiştirilmiştir. Besleme hızı 1 lpm olarak sabit tutulurken, G kuvvetleri bir önceki deneyde optimum sonuçların elde edildiği falcon konsantratör için 120 kg.m/s², knelson konsantratör için 100 kg.m/s² olarak belirlenmiştir. Farklı yıkama suyu basıncında elde edilen sonuçlar, Şekil 4'de verilmektedir. Şekil 4'den görülebileceği gibi, falcon konsantratör deneylerinde en yüksek tenör 5 psi'da %46,02 Cr₂O₃ olarak elde edilirken, knelson konsantratörde en yüksek tenör 5 psi'da %47,56 Cr₂O₃ olarak elde edilmiştir. Kromit zenginleştirme veriminde ise tenöre göre ters

korelasyon gözlenmiştir. Maksimum tenörün elde edildiği 5 psi yıkama suyu basıncında yapılan deneylerde en düşük %Cr₂O₃ verimleri elde edilmiştir. Bu deneylerde falcon konsantratör için %58,41, knelson konsantratör için %60,35 Cr₂O₃ verimi elde edilmiştir. Hem verim hem de tenör değerleri dikkate alındığında falcon konsantratör için 3 psi yıkama basıncında, knelson konsantratör için 4 psi yıkama suyu basıncında yapılan deneyler optimum olarak kabul edilmiş ve sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu deneylerde falcon konsantratörde %43,89 Cr₂O₃ tenörü %67,25 verim ile knelson konsantratörde %47,32 Cr₂O₃ tenörü %72,51 verimle elde edilmiştir. Yıkama suyu basıncı arttıkça tenörün artması ve verimin düşmesinin nedeni hafif minerallerin atık haznesine taşınması için oluşan akışkan yatağın biraz daha ağır taneleri de (bağlı taneleri) atık haznesine taşımaya başlamasıdır. Bu yüzden konsantrde kısmında daha az bağlı tane kaldığı için tenör yükselmekte ancak bağlı tanelerde kromit minerali bulunduğu için verim düşmektedir. Bu yüzden yıkama suyu basıncı kritik bir öneme sahip parametre olmaktadır.

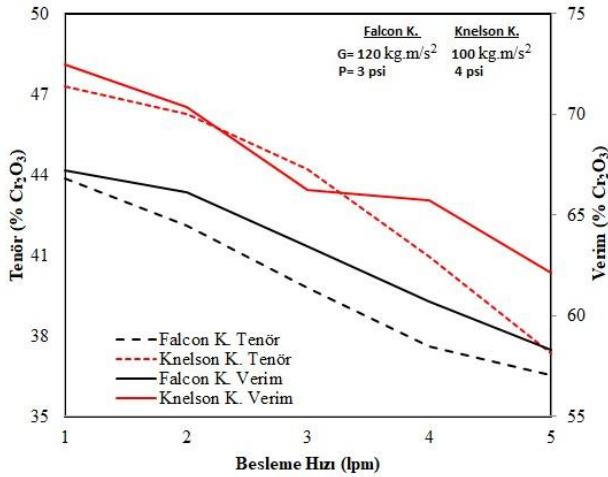


Şekil 4. Yıkama suyu basıncının kromit zenginleştirmeye etkisi.

Kromit zenginleştirmeye besleme hızının etkisi

Falcon ve knelson konsantratörlerde zenginleştirmeyi etkileyecek bir diğer parametre ise besleme hızıdır. Besleme hızı konsantratörlere verilen birim zamandaki katı miktarı ile ilişkilidir. Katı oranı da değiştirilerek te benzer sonuçlar elde edileceği için bütün deneylerde katı oranı sabit tutulmuştur. Besleme hızı etkisini belirlemek için G kuvveti ve yıkama

suyu basıncı bir önceki deneylerde elde edilen optimum sonuçlarda sabit tutularak bir seri deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde besleme hızı 1-2-3-4-5 lpm olarak değiştirilmiştir. Diğer parametrelerin optimum sonuçları ise falcon konsantratör için G kuvveti 120 kg.m/s² ve yıkama suyu basıncı 3 psi, knelson konsantratör için G kuvveti 100 kg.m/s² ve yıkama suyu basıncı 4 psi'dir. Farklı besleme hızlarında elde edilen sonuçlar, Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 5'den görülebileceği gibi, diğer iki parametreden farklı olarak verim ve tenörün benzer şekilde besleme hızı arttıkça bunların düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin besleme hızı arttıkça konsantratörler içerisinde birim sürede bulunan katı miktarının artması taneciklerin seçici bir şekilde ayrılmasını zorlaştırdığı ve bu yüzden tenör ve verimde düşüşlerin gözlenmesine neden olduğu düşünülmektedir. En yüksek verim ve tenör 1 lpm besleme hızında elde edilmiştir. Bu şartlarda falcon konsantratör ile %72,51 verimle %47,32 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 5. Besleme hızının kromit zenginleştirmeye etkisi.

Sonuçlar

Fethiye/Üçköprü krom zenginleştirme tesis atıklarının falcon ve knelson konsantratör ile zenginleştirildiği bu çalışmada, cihazların parametrelerinin krom zenginleştirmeye etkileri de belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda %13,27 Cr₂O₃ içeren kromit atığı falcon konsantratör kullanılarak %43,89 Cr₂O₃ tenörlü konsantre ürün %67,25 verim ile elde

edilken, knelson konsantratörde %47,32 Cr₂O₃ tenörlü ürün %72,51 verimle elde edilmiştir.

Endüstrinin hızla gelişmesi kromit ihtiyacını artırmakta ve kromit atıklarının kullanımını güncel tutmaktadır. Bu çalışma sayesinde hem çevresel bir probleme neden olan hem de atıl olarak bekleyen düşük tenörlü kromit atıkları basit ama gelişmiş gravite cihazlar ile yüksek sayılabilecek bir verimle tek aşamalı olarak zenginleştirilerek satılabilir tenör olan %42 Cr₂O₃'ün üzerine çıkılarak çalışma hedefine ulaşılmıştır. Bu sayede çalışma içerisinde sunulan deneysel akım şemasında olduğu gibi 0,5 mm elekten elenerek -0,5 mm atık bu yöntemler ile kazanılabilecektir. Ayrıca +0,5 mm boyutundaki kromit atığı ise ince boyuta göre daha kolay yöntemler (sallantılı masa gibi) ile değerlendirilebilecektir.

Cihazların çalışma parametrelerini ayrı ayrı değerlendirmek için yapılan seri deneyler sonucunda G kuvvetinin etkisinin benzer olduğu ancak optimum sonuçlara falcon konsantratörde 120 G'de, knelson konsantratörde 100 G'de ulaşılmıştır. Ayrıca yıkama suyu basıncının artmasıyla konsantre tenörünün arttığı ve veriminin düştüğü belirlenmiştir. Bu kromit atığı için tenör ve verimler dikkate alınarak optimum şartlar belirlenmiş olup, değişen çalışma koşullarına göre bu parametrenin istenilen konsantre kalitesine göre ayarlanabileceği ortaya konmuştur. Bunun dışında besleme hızının üretilen konsantre tenörü ve verimi üzerinde negatif bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden mümkün olan en düşük besleme hızlarında çalışmanın avantajlı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak atıl durumda bekleyen binlerce ton krom atığı basit zenginleştirme prosesleri ile satılabilir tenörün çok üstünde bir tenöre ulaştırılarak ekonomiye kazandırılması ve bu sayede ciddi miktarda gelir elde edilmesinin mümkün olduğu kanıtlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Eskibalci, F., Çinkü, K., Kurşun, İ., Özkan, Ş.Ü., (2002). "Kavak Yöresi Kromit Atıklarının MGS cihazı Kullanılarak Zenginleştirilmesi", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 15(2), 55-62.

- [2] Önal, G., Gürkan, V., Acarkan, N., (2005). “Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ile Değerlendirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] Aydın, M.E., (2001). “Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 38.
- [4] Özkan, Ş.G., İpekoğlu, B., (2001). “Concentration studies on chromite tailings by multi gravity seperator”, 17th International Mining Congress and Exhibition IMCET, Turkey: 765-768.
- [5] Çetinkaya, F., (2004). “Kavak-Krom Artıklarının Zenginleştirilmesinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [6] Er, B., (2011). “Multi gravite cihazlarının krom cevheri zenginleştirmesindeki etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [7] Rath, R. K., Dey, B., Mohanta, M. K., Prusty, L. K., And Singh, R., (2017). “Recovery of chromite values from tailings of COB plant using enhanced gravity concentrator”, International Conference on Mineral Processing Technology, Indian Institute of Mineral Engineers, Chennai, 644-649.
- [8] Kıyak, T., (2013). “Orhaneli krom zenginleştirme tesis atıklarının Knelson konsantratörü kullanılarak zenginleştirilmesi”, Yüksek Lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [9] Bozkurt, B. (2017). “Kromun Zenginleştirme Tesis Atıklarından Geri Kazanımında Knelson Gravite Konsantratörünün Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [10] Özgen, S. (2012). “Clean Chromite Production from Fine Chromite Tailings by Combination of Multi Gravity Separator and Hydrocyclone”, Separation Science and Technology, 47 (2012) 1948-1956.
- [11] Celep, O. (2005). “Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) cevherlerinden altın kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [12] Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M. ve Yılmaz, T. (2006). “Knelson santrifüj gravite ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı”, Yerbilimleri Dergisi, 19 (2), 175-182.
- [13] Knelson, B. ve Jones, R., (1993). “A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line”, Mineral Engineering, 7,201-207.
- [14] Huang, L., (1996). “Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator”, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.

Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area

Halil İbrahim Şenol ^{1,*}, Abdulkadir Memduhoğlu ², Mustafa Ulukavak ³

¹ Harran University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, ORCID: 0000-0003-0235-5764

² Harran University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, ORCID: 0000-0002-9072-869X

³ Harran University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, ORCID: 0000-0003-2092-3075

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 June 2020
Received in revised form 17 June 2020
Accepted 24 June 2020
Available online 30 September 2020

Keywords:

Kizilkoyun Necropolis, unmanned aerial vehicle, rock tombs, laser scanner, point cloud, documentation

ABSTRACT

Şanlıurfa is one of the largest and oldest settlements in Mesopotamia. Such that Şanlıurfa, who saw the sovereignty of civilizations such as Ebla, Akkad, Sumerian, Babylon, Hittite, Hurri-Mitanni, Arami, Assyria, Persia, Macedonia, Rome, Byzantium, has announced in the UNESCO World Cultural Heritage List, which is 7000 years older than the Stonehenge and 7500 years older than the Egyptian pyramids. Located in the center of the city, within the Balıklı göl plateau and the historical Kızılköyün Necropolis is one of the archaeological sites which was discovered in recent years. Kızılköyün Necropolis with 75 tombs unearthed during the first work of continuing excavations is a candidate to become Turkey's largest Necropolis. In this study, Kızılköyün Necropolis was first scanned with a laser scanner, and then with the unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetric products have been produced. The result of the evaluation is a surface model of the rock tombs in the region and some archaeological figures and structures have been transferred to the digital environment.

Doi: 10.24012/dumf.801662

Introduction

Şanlıurfa is one of the oldest settlements in Mesopotamia. Such that Şanlıurfa, who saw the sovereignty of civilizations such as Ebla, Akkad, Sumerian, Babylon, Hittite, Hurri-Mitanni, Arami, Assyria, Persia, Macedonia, Rome, Byzantium, has announced in the UNESCO World Cultural Heritage List, which is 7000 years older than the Stonehenge and 7500 years older than the Egyptian pyramids. The importance of Şanlıurfa region increased with the inclusion of Göbeklitepe Archaeological Excavation Area in the vicinity of Şanlıurfa Örencik Village in UNESCO World Cultural Heritage List. It is determined to be 7000 years older than Stonehenge and 7500 years older than the Egyptian pyramids, which dates to 11600 years

ago (UNESCO, 2018). Except for Göbeklitepe, there are many unexposed and archaeological remains in Şanlıurfa. Due to the climate of the region, water resources have always been important for Şanlıurfa and surrounding provinces. Therefore, people who settled in the Şanlıurfa region, which has fertile lands since the beginning of the history of civilizations, have established their settlements close to water resources. Today, Balıklı Göl Plateau, which is an important water resource for Şanlıurfa, has been used as a settlement from past to present. It has been determined that there is a settlement in the south and north of the Balıklı Göl, which is the center of the water resource and named as Edessa [1].

* Corresponding author
Halil İbrahim Şenol
✉ halilisenol@gmail.com

In the written history period, Phrygia the region passed, Lydia, Hellenistic, Iran, Roman-Byzantine, and Turkish period.

Located between the Euphrates and Tigris rivers on the foothills of the Southeastern Anatolian Taurus, known as Fertile Crescent, there are many immune cultural artifacts in the conventional city center of Şanlıurfa. The archaeological sites, which have traces of certain periods in history, can give information about the lifestyles of civilizations living here. However, archaeological sites may undergo various deformations over time or under the human influence [2]. This study aims to emphasize the importance of documenting archaeological sites that have a precious and sensitive structure. Kızılkoyun Necropolis, which is chosen as the study area, Turkey's largest Necropolis in terms of being an important historical period, narrative texture that can be found in the city is an important archaeological site. Şanlıurfa, formerly known as Edessa, had two Necropolis areas. Edessans built Necropolis because they believed in life after death. It is believed that the people buried here, and their families continued to live in these cities after death. Edessans make their cemeteries in a square or rectangular shape, and some of the entrance parts were processed with a temple facade.

With the development of technology, the process of documentation of historical sites has become risk-free and easy. In this study, laser scanning and aerial photographs were used in this archaeological area; point cloud production, mesh modeling, object modeling, orthophoto map, digital elevation model, and digital terrain model were created. Remote sensing methods play an important role in the detection and preservation of existing and buried archaeological artifacts [3]. The results obtained from these studies can be used for archaeological projects as well as for the documentation of excavation sites [4]. While achieving this process, where the structure needs to be reconstructed the geometric accuracy of the model obtained is important [5, 6]. Also, these methods are used to detect and intervene in damages in the archaeological sites due to various causes [7].

Nowadays, with the development of unmanned aerial vehicles and remote sensing systems, it has become easier to model objects and determine the terrain surface as it is [8]. However, the use of

traditional methods takes a long time and increases costs [9]. But today, with the development of technology and reducing the cost of systems, this difference has begun to decrease. Besides, rapid and reliable measurement methods are required to document historical data [10]. However, unmanned aircraft or terrestrial scanning systems may not always produce a solution when used separately. In such cases, problems can be eliminated by combining two systems [11]. It is important that the devices used in the study are used by experts in the field and the subsequent application is done with professional people in terms of the desired sensitivity of the study.

The study area is an important place to shed light on the history of the region. For this reason, it is important to document the graves unearthed. Due to the different devices used, two different research plans were examined. First of all, measurements were taken outside and inside the historic structure with a laser scanner. Secondly, aerial photographs were obtained by unmanned aerial vehicles (UAV) at a fixed height.

In the restoration studies to be carried out as a result of historical structures affected by disasters, problematic areas can be identified accurately by using a laser scanning method [12]. In the photogrammetric aspect, the low-altitude aerial photographing method was used in the area of the Roman camp of A Cidadela in NW Spain and the best land surface result was obtained by point-based method [13]. When the structure from Motion and terrestrial laser scanning methods were compared, it was found that the SfM photogrammetry methodology obtained better results than the terrestrial laser scanning method geometrically and visually [14].

Study area

In history Şanlıurfa, before entering into the domination of the Romans, Edessa King Abgar Ukkama has accepted Christianity as kingdoms religion. For this reason, Şanlıurfa has played a very important role in the generation of the foundations of Christian faith [15]. Which founded and established in B.C. 132 The Kingdom of Osroene lived independently until B.C. 244 and then came under the sovereignty of the Roman Empire. While Edessa was an ordinary city under Roman rule, it became an

important province during the reign of Constantine the Great (A.D. 349). The double pillar in the Urfa fortress from the Osroene Kingdom can be seen today.

The Kızılkoyun Necropolis, which was selected as a study area was declared a protected area in 2012 within the traditional archaeological tissue of the city, is located to the north of Balıklı Göl (Figure 1).

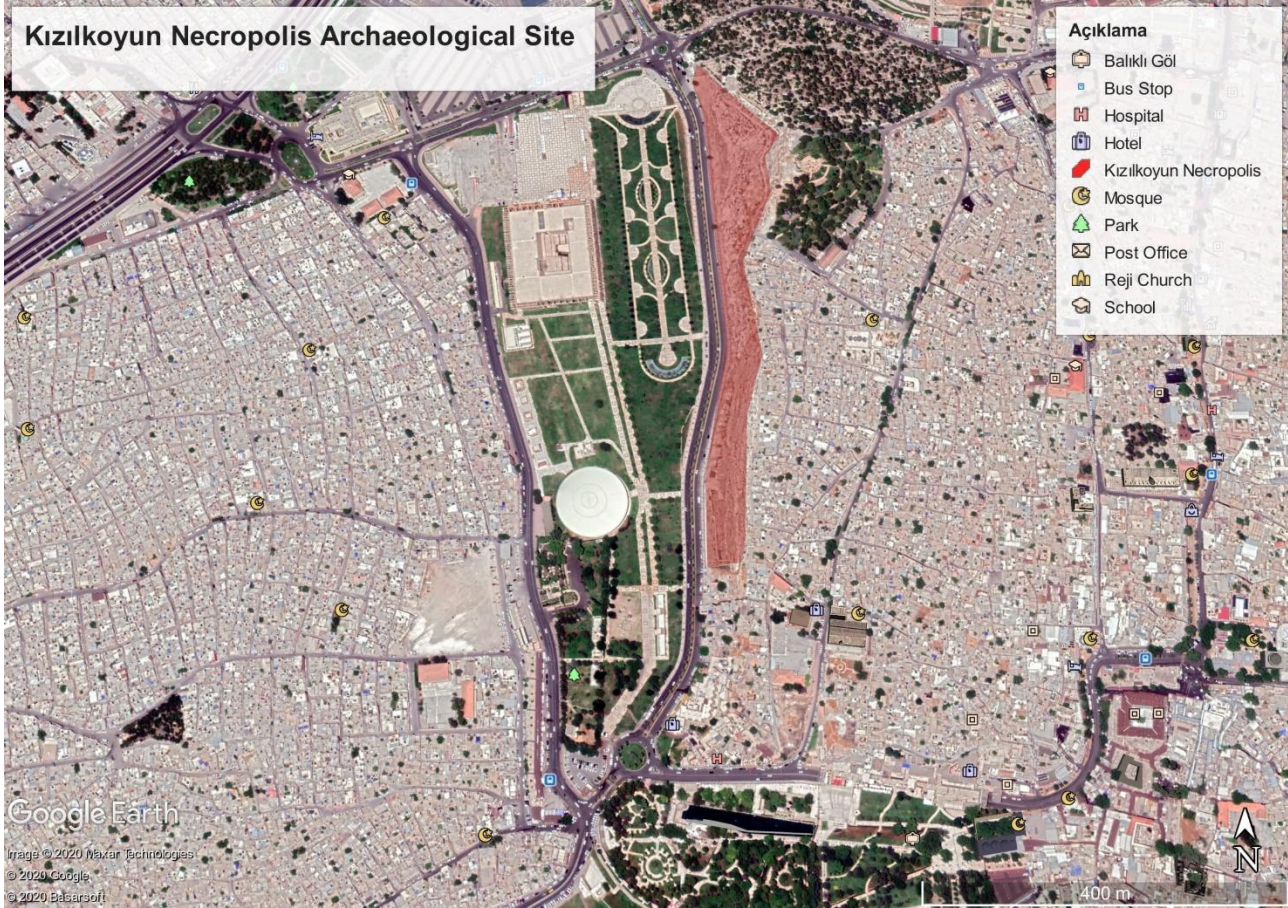


Figure 1. Kızılkoyun Necropolis Archaeological Site

“Kızılkoyun ridges in the city and caves at the foot of the castle emerge as an important cultural identity element” [16]. Although there are many caves in the city, most of them remain under residential areas. The caves emphasizing the historical importance of the city will also shed light on the historical development of the culture of Şanlıurfa. The approximate size of the area is 5 hectares. Kızılkoyun Necropolis is surrounded by protected areas within the zoning plan for conservation in Şanlıurfa Province [17]. The region is also known as a place, where the world's oldest real size human statue has found, when is a pottery-free Neolithic Period Balıklı göl Statue circa 11,500 B.C. [18]. The western walls of Şanlıurfa pass between the archaeological site of the Kızılkoyun Necropolis and the urban archaeological site of Yenimahalle. To the west of the Kızılkoyun Necropolis is the Haleplibahçe archaeological site, to the south is Şanlıurfa

Castle and Balıklı göl, to the north is the Bediüzzaman Cemetery. The fact that the region is surrounded by archeological areas increases the importance of the study area. Since the area was not taken under protection in the previous years, the caves were covered with slum structures and it is assumed that caves can be found under these slum areas.

75 cave tombs were unearthed in the area. These cave tombs belong to the Roman period, and in these caves, stone carvings, reliefs and mosaics were found. The area is built on a slope. Where the cave was carved has a calcareous ground structure. The archaeological site should be recorded with 3D documentation methods due to the slopes and the recesses on the monument [19]. Although the structures are cave tombs, thanks to the calcareous structure it has become livable inside the caves.

These tombs in the region are square and rectangular with three single-chamber arcosolium (An ancient arch-shaped cell or niche carved into the rock in underground burial chambers in Roman catacombs.) and three lectia (A kind of armchair used in Ancient Greece and Rome.), front-entry single-chamber arcosolium and three-

lectia, front-entry multi-chamber arcosolium and lectia, intertwined two or three-room and one-chamber arcosolium and dromos with lectia. The interior of the burial chambers in the Necropolis area was built in a different architecture (Figure 2).



Figure 2. The only entrance with temple facade in Kızılkoyun Necropolis

The status, occupation, and economic differences of the grave owners have led to the grave chambers having different architectures. The predominantly one-room graves, as well as the one-chamber tombs with front entrances, the multi-chamber tombs with front entrances, two or three-chamber tombs, and one-chamber dromos, were found [20].

Later in the divided Roman Empire, Urfa remained within the borders of the Eastern Roman Empire. The city has been under Roman influence for many years and there are Roman works of art in many places. One of these historical monuments from the Roman period is the Kızılkoyun Necropolis. In the 75 caves found in the excavation area, rock tombs, rock carvings, reliefs, two Roman period statues, and one limestone sarcophagus were found inside the rock tombs. Besides, arcosolium and boat grave types were found. Archaeologists were found 1.85 cm long statues in their research and it was found that these statues were soldier statues of the Roman period belonging to 3-4 centuries. However, the soldiers' statues are depicted in the monolithic pedestal, oriental dressed and equipped with military equipment and it is stated that they carry similar style in terms of construction and use limestone in their construction [21].

Significant mosaics and statues were found in the caves. The calcareous structure of the land in determining the time of the establishment of the region shows that the history of these caves can be traced back to the ancient civilizations. "The presence of caves near the area, which is also known as Dergah, shows that the area where the present city of Şanlıurfa is located during the Paleolithic Period and its surroundings are settled" [22].

Preservation of Kızılkoyun Necropolis before declared and conservation - planning process

The area remained empty until 1970. But with the increase in squatter slums in the region began in 1979 in Turkey. In 1971-1972, to pave the way, the IV. Murat Gate, which is between the Haleplibahçe and Governor Fuat Street, was demolished [23]. With the law passed between 1983 and 1985, the slums were legitimized and the rock tombs, stone reliefs and floor mosaics remained under the slums [24]. Şanlıurfa Conservation Development Plan was approved in 1992. As the caves were covered with slums, the aesthetics of the city were negatively affected.

Haleplibahçe, Urfa castle and Ancient Edessa around the area were taken under protection with

the decision taken by the Presidency of Real Estate and Antiquities and Monuments High Council of the Ministry of Culture in 1979, while the area where Kızılkoyun caves were not protected. In the 1/1000 scale Conservation Development Plan announced in 1992, the area was designated as an area that can be considered as parks, children's gardens, fairs and amusement parks. It was declared as a second-degree archaeological site in 2008, but later it was decided to be declared an urban archaeological site. With the decision taken in 2012, the second-degree archaeological site was declared, and the Kızılkoyun Necropolis was registered as the second-degree archaeological site and the urban texture in the southeast of the area where the graves were located was registered as Yenimahalle Urban Archaeological Site.

Before the site was declared a protected area in 2012, 387 houses and workplaces were demolished by Şanlıurfa Municipality. Under these destroyed houses and workplaces, 59 caves with various figures and reliefs were found on the walls. After the works, the Ministry of Culture and Tourism revealed that it was a Necropolis.

In 2015, the Şanlıurfa Cultural Heritage Protection Regional Board; It was decided that the landscaping projects prepared for the Second-Degree Archeological Site of Kızılkoyun Necropolis prepared by Şanlıurfa Metropolitan Municipality. In the Conservation Development Plan, which was put into effect in 2017, Kızılkoyun Archaeological Site; Planning decisions were determined by evaluating them separately as Second Degree and Third-Degree Archaeological Sites (Şanlıurfa Regional Board for the Protection of Cultural Heritage).

Methodology

Nowadays, as the popularity of device usages such as laser scanning and UAV increases, and the number of applications that can be done with these devices has increased significantly. Both methods have advantages and disadvantages compared to each other [25]. Laser scanning devices have a wide range of applications in documenting crime incidents, construction of engineering structures, surveying, and archaeological artifact measurements. In this study, the laser scanning device was used to scan both the work area surface and the tomb interior

surfaces. Laser scanning devices are important for the precise production of the model where the sunlight does not enter with little or no penetration, such as tombs [26]. The laser scanning device used in the study is the x300 model of Stonex. This device has a capacity of 40000 dots per second and a 5-megapixel two-angle camera. Also, the device can scan 360 degrees on the horizontal axis and 90 degrees on the vertical axis. The device can detect the closest measuring distance is 1.6 m and the farthest measuring distance is 300 m.

To achieve precise measurements with laser scanning devices, it is important to determine the scan locations well and to prepare and follow the appropriate plan. Pay attention to the common points in each scan area and install the device at these points. While selecting a reference point in the scanned areas, it should be noted that the same objects can be seen again in the acquired images. Measurements should be repeated in sections with a high level of detail and these sections should be revealed in more detail. In this study, the closest measuring distance of the device is taken into consideration when making measurements.

The UAV that we use in practice is the Octo V3 model of the Turkuav with 8 propellers. The device is equipped with a 20.2-megapixel camera with its flying equipment. In the measurements made with UAV, a detailed flight plan was prepared for the region to be displayed. Obstacle heights in the area where the measurement is to be performed are well defined and the flight height of the UAV is adjusted according to this plan. Operators using the devices did not change from the beginning to the end of the application and human errors that might occur were minimized.

Application

In this study, two different measurement platforms, laser scanner and UAV were used and therefore two different methods were applied to perform documentation of historical places.

Laser scanning application

Based on the technical characteristics of the device used in the study, the measurement was previously planned and the maximum yield from the device was calculated. Considering the

limitations such as the minimum measuring range of the device and the narrow archaeological study area we made multiple measurements and

minimized possible data losses. The point cloud was obtained from the laser scans of the region and the object model was created (Figure 3).



Figure 3. Kizilkoyun Necropolis Overview (Point Clouds)

As the result, data required a photographed model, we paid attention to the time of the measurement. Measurements were made the morning hours when the device would not be exposed to direct sunlight and the shadow would be as low as possible for the accuracy of the results.

Since the region where the study was conducted in Şanlıurfa, we also paid attention to air temperature. The operating temperature of the device is at most 50 centigrade degrees and the device cannot operate consistently at noon. For this reason, we chose morning hours (7 p.m. to - 11 p.m.) when the sun was usually behind the caves and the device did not see the sun.



Figure 4. (Left) In-Cave Relief Detail (Point Cloud), (Right) In-Cave Relief Detail (Modeled Image)

In the study, planning of measurements and apply on the study area is important. In application, we made a measurement plan and complete measurement so that the detail points appear in as many measurements as possible. 24 measurements were taken from the study area. Each of these measures was obtained from different connection points and all were adjusted

to see each other. We have paid attention to the detail points that will be the reference in each of the measures. At the measurements taken, the corner point was tried to be taken as much as possible (Figure 4). Laser scanning data were evaluated in the Reconstructor software. The mean pixel sensitivity in 24 groups measure was ± 3.5 cm. In the study, pixel sensitivity varies

according to the level of detail required in the project.

Unmanned aerial vehicle application

We used 8-winged octocopter of the Octo V3 model of TurkUAV brand. We have checked some flight procedures. Firstly, we checked the weather conditions (temperature, pressure, humidity) at the time of flight of the region. To identify the obstacles that may be encountered in the area where the flight will take place, the dangerous high objects on the land were checked before the flight in the area. Secondly, a flat

surface was chosen as possible for the UAV to be able to take off smoothly. Before starting the flight, pre-flight preparations checked step by step and then the flight started. The study area has a steep and sloped terrain. Therefore, to avoid the risk of the UAV crashing anywhere, flights were carried out at a safe height of 50 meters. The fixed-height flight is important for the consistency of data and easy calculation.

The points shown in Figure 5 show the route of the UAV at the time of flight and the photo-shooting points.



Figure 5. Flight Area

Flights were made in the morning when the shadow was minimal. It is very important to prepare a flight plan previously for the flight area. Thus, flight time, flight area was determined, and it was determined whether there was an obstacle during the flight and the flight plan was prepared

accordingly. 99 photographs were used in the study evaluated with Pix4D software. The application area is modeled with these images and the application area is modeled by clothed images to the resulting point cloud (Figure 6).

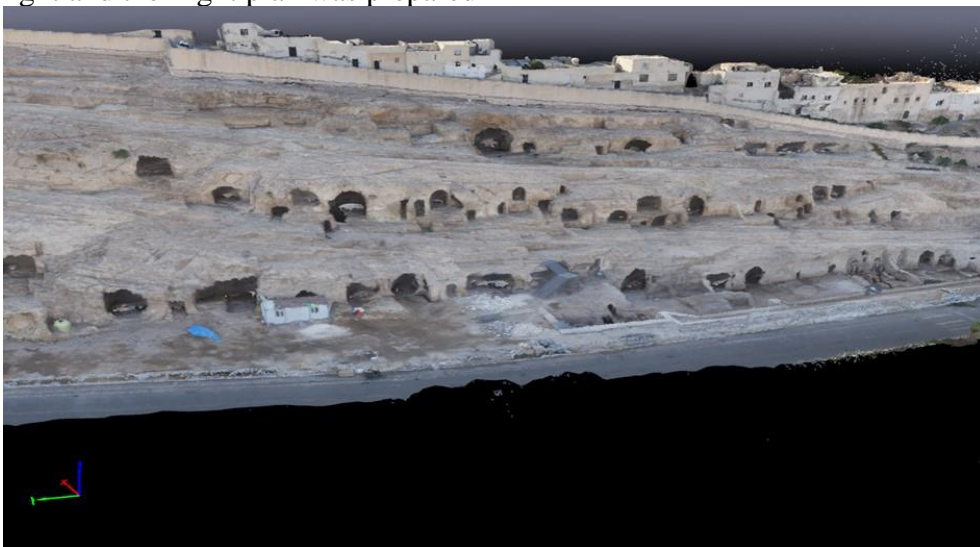


Figure 6. Modeled View of the Caves

At the end of the evaluation, ground sample distance was 1.26 cm/pixel. In addition, orthophoto, digital elevation models and digital terrain models of the region have been created (Figure 7).

An obtained outcome such as images and models can be used in archiving historical places, modeling important artifacts found in archaeological excavations and restitution projects.

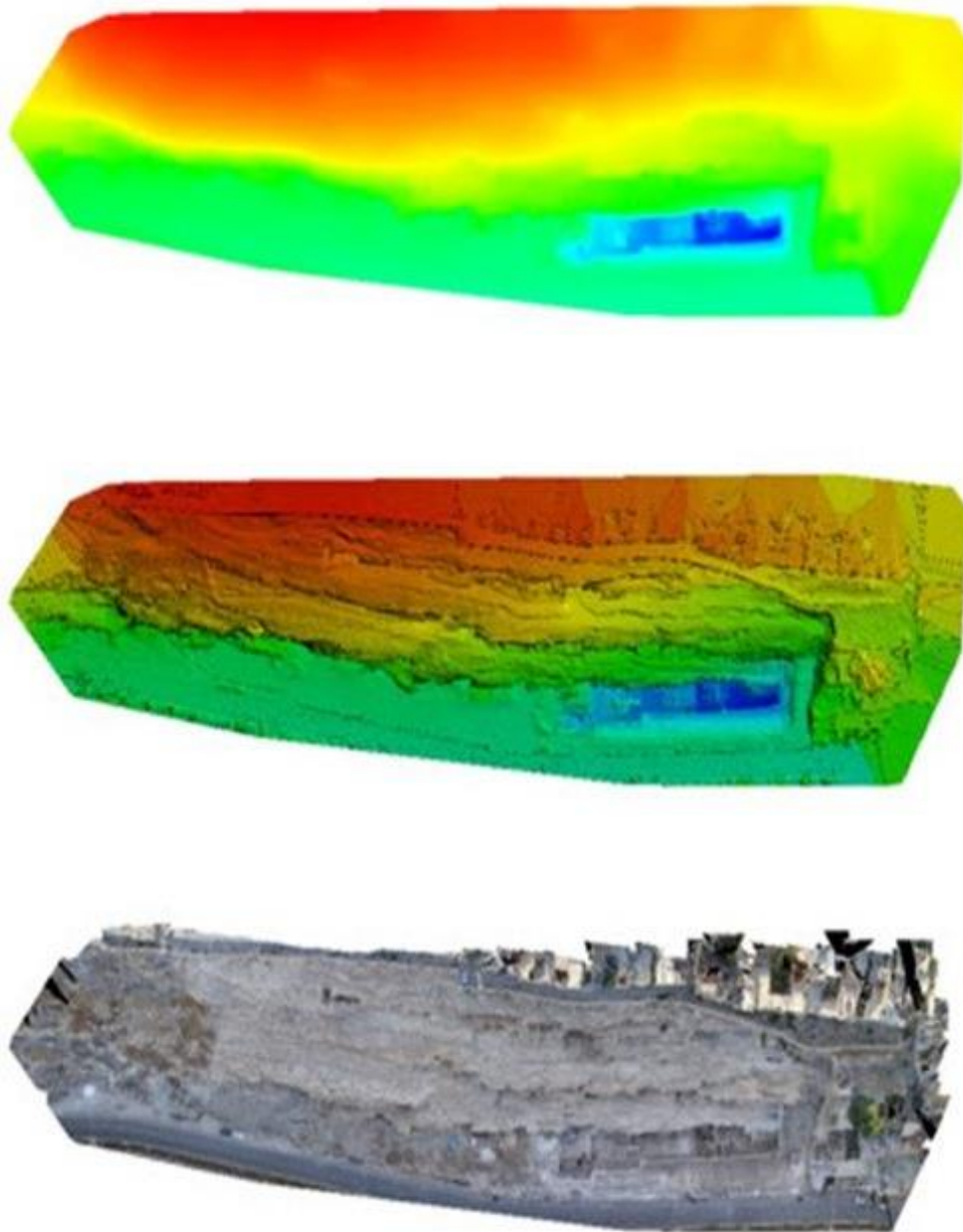


Figure 7. DEM (Top), DTM (Middle) and Obtained Orthophoto (Bottom)

Conclusions

At the end of the study, the Necropolis was modeled with both laser scanning devices and UAV to obtain high accuracy results. In the historical artifact measurements, UAV and laser scanning methods were applied without damaging and contact artifacts and it was found

to be a more advantageous tool in terms of both time and accuracy compared to classical measurement methods. It has been found that there are narrow areas that the device cannot see during application and this problem can be solved by using the apparatuses of the device. Besides,

the structure of land was modeled with the digital elevation models and digital terrain models.

The study is important to shed light on the existence of historical artifacts and to document the existing artifacts. In the next studies, historical artifacts requiring a high level of detail in the region will be explored and the places where the depth analysis should be performed will be re-evaluated.

Furthermore, by combining image-based data with laser-scanned data, the deficiencies of the generated model can be eliminated when the methods are used separately. We can have information about the inner sections by measuring the laser scanning method of the grave parts that cannot be entered by unmanned aerial vehicles. However, due to the scattering caused by the material used in the structure and the sun, the laser scanning method did not give good results and the quality products were obtained by the photogrammetric method. It is seen that by combining the data which is obtained on different platforms, the laser scanning method and the image-based method can eliminate each other's deficiencies.

Acknowledgments: We would like to thank the Şanlıurfa Museum Directorate and the Harran University Archeology Department for their valuable supports.

References

- Ekinci, A.; Paydaş, K. Taş Devrinden Osmanlıya Urfa, Şanlıurfa Valiliği, **2008**; Şanlıurfa.
- Sarıkaya L.Y. Koruma-Planlama Süreçleri Üzerine Genel Bir Değerlendirme: Soli-Pompeopolis Örneği, Planlama Dergisi **2009**; Volume 3(4), pp. 43-61.
- Agapiou, A.; Lysandrou, V. Remote sensing archaeology: Tracking and mapping evolution in European scientific literature from 1999 to 2015, Journal of Archaeological Science Reports **2015**; Volume 4, pp. 192-200.
- Senol, H.I.; Erdogan, S.; Onal, M.; Ulukavak, M.; Memduhoglu, A.; Mutlu, S.; Yilmaz, M. 3D Modeling of A Bazaar In Ancient Harran City Using Laser Scanning Technique, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, **2017**; 42.
- Fryskowska, A.; Stachelek, J. A no-reference method of geometric content quality analysis of 3D models generated from laser scanning point clouds for hBIM, Journal of Cultural Heritage **2018**; Volume 34, pp. 95-108.
- Shen, Y.; Lindenbergh, R.; Wang, J.; Ferreira, V. Extracting Individual Bricks from a Laser Scan Point Cloud of an Unorganized Pile of Bricks, Remote Sensing **2018**; Volume 10(11), pp. 1709.
- Galantucci, R.A.; Fatiguso, F. Advanced damage detection techniques in historical buildings using digital photogrammetry and 3D surface analysis, Journal of Cultural Heritage **2019**; Volume 36, pp. 51-62.
- Yu, L.; Zhang, Y.; Nie, Y.; Zhang, W.; Gao, H.; Bai, X.; Zhu, J. Improved detection of archaeological features using multi-source data in geographically diverse capital city sites, Journal of Cultural Heritage **2018**; Volume 33, pp. 145-158.
- Uysal, M.; Toprak, A.S.; Polat, N. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, Measurement **2015**; Volume 73, pp. 539-543.
- Uysal, M.; Toprak, A.S.; Polat, N. Photo realistic 3d modeling with UAV: Gedik Ahmet pasha mosque in Afyonkarahisar, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **2013**; Volume 1.2, pp. 659-662.
- Arza-García, M.; Gil-Docampo, M.; Ortiz-Sanz, J. A hybrid photogrammetry approach for archaeological sites: Block alignment issues in a case study (the Roman camp of A Cidada), Journal of Cultural Heritage **2019**; Volume 38, pp. 195-203.
- Wilson, L.; Rawlinson, A.; Frost, A.; Hephher, J. 3D digital documentation for disaster management in historic buildings: Applications following fire damage at the Mackintosh building, Journal of Cultural Heritage **2018**; Volume 31 pp. 24–32.
- García, M.A.; Docampo, M.G.; Sanz, J.O. A hybrid photogrammetry approach for archaeological sites: Block alignment issues in a case study (the Roman camp of A Cidada), Journal of Cultural Heritage **2019**; Volume 38, pp. 195-203.
- Villasenín, S.P.; Docampo, M.G.; Sanz, J.O. Professional SfM and TLS vs a simple SfM photogrammetry for 3D modelling of rock art and radiance scaling shading in engraving

- detection, Journal of Cultural Heritage **2019**; Volume 37 pp. 238–246.
15. Urfada Roma ve Bizans Dönemi, <http://ekitap.kulturturizm.gov.tr/TR,80732/roma-ve-bizans-do-nemi-116-639.html> (Accessed on 03 March 2017)
 16. Kızılkoyun Sırtları Canlandırma Projesi 2011, https://www.kentselstrateji.com/wp-content/uploads/V-07_San%C4%B1urfa.pdf (Accessed on 24 Ekim 2017).
 17. Öztürk Tel, H.; Kuloğlu Yüksel, F.Ş. Evaluation of the Kızılkoyun Necropolis Archaeological Site in the content of Conservation-Planning. Inonu University Journal of Arts and Design **2017**; Volume 7(16), pp. 1-16.
 18. Tiffany, J. 2015, Gobekli Tepe. The Barnes Review.
 19. Monna, F.; et al. Documenting carved stones by 3D modelling—Example of Mongolian deer stones. Journal of Cultural Heritage **2018**; Volume 34, pp. 116-128.
 20. ŞURKAV Dergisi Edessa (Şanlıurfa) Kızılkoyun Nekropolü 2018 <http://surkav.org.tr/surkavdergi/surkav31.pdf> (Accessed on 24 Aralık 2019).
 21. Kültür turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,107465/sanliurfa-roma-do-nemi-kaya-mezari.html (Accessed on 30 December 2018)
 22. Çelik, B. Şanlıurfa Kent Merkezinde Çanak Çömleksiz Bir Neolitik Yerleşim: Yenimahalle, Hacettepe University Institute of Social Sciences, 2003; Unpublished Master Science Dissertation, Ankara.
 23. T.C. Kültür Bakanlığı ve Unesco, Türkiye Milli Komisyonu, GAP Bölgesi'nde Kültür Varlıklarının Korunması, Yaşatılması ve Tanıtılması Sempozyumu: 01-05 Haziran 1998, Şanlıurfa
 24. Kürkçüoğlu, A.C. Urfa “Fotoğraflarla Ev-vel Zaman İçinde”. Şanlıurfa Belediyesi Kültür Ve Sosyal İşler Müdürlüğü yayını **2001**; Ankara.
 25. Lerma, J.L.; Navarro, S.; Cabrelles, M.; Villaverde, V. Terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry for 3D archaeological documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study, Journal of Archaeological Science **2010**; Volume 37(3), pp. 499-507.
 26. Porras-Amores, C.; Mazarrón, F.R.; Cañas, I.; Sáez, P.V. Terrestrial laser scanning digitalization in underground constructions, Journal of Cultural Heritage **2019**; Volume 38, pp. 213-220.

Otonom Araçların Özellikleri, Mevcut Durumu ve Gelecekteki Yerinin Ulaştırma ve Trafik Üzerine Etkisi Bağlamında İncelenmesi

A Review of Characteristics and Existing Case and Future Position of Autonomous Vehicles on the Context of Effects over Transportation and Traffic

Mehmet Çağrı Kızıltaş^{1*}

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 5 Aralık 2019
Düzeltilme: 8 Eylül 2020
Kabul: 9 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Otonom araçlar, otonom sürüş, penetrasyon, karma trafik, teknolojik ilerleme

ÖZET

Otonom araçlar geleceğin ulaştırma ve kentleşmesini şekillendirecektir. Ve gelecekteki ulaştırmada temel taşlardan birisi olacaktır. Bu bağlamda mevcut ulaştırma ve trafik sistemine penetrasyonu on yıllar alacak olup söz konusu ulaştırma türü ile mevcut otomobillerden (konvansiyonel araç) oluşan bir karma trafikten bahsedilecektir. Buna göre trafik akımı, trafik akım hızı, trafik güvenliği, trafik düzen ve sürekliliği, şerit disiplini, takip mesafesi, konfor gibi hususlar penetrasyon düzeylerine göre sürekli bir değişim gösterecektir. Bunun bir düzen ve istikrarı yakalaması uzun yıllar alacak bir süreçtir. Otonom araçların trafik düzeni, trafik akım hızı, verimi, otopark yer tasarrufu, trafik güvenliği ve seyahat kilometreleri gibi konuları geliştirmesi beklenen bir durumdur. Ancak söz konusu heterojen akım dâhilindeki orta vadede bütün bu özelliklerin, karma trafiğin getirileri ve uygulama tecrübeleri bağlamında büyük değişiklikler göstermesi beklenebilmektedir. Bunun iyi yönetimi için şimdiden safhalarına göre iyi kavranması, analizi ve yorumu gerekecektir. Bu çalışmada öncelikle otonom araçların temel özellikleri ele alınmaktadır. Ardından mevcut durumu değerlendirilmekte ve otonom araç seviyelerinden bahsedilmektedir. Bu çerçevede de kullanıcı nezdinde kabulü irdelenmekte ve bu bağlamda sonuç ve öneriler paylaşılmaktadır.

Doi: 10.24012/dumf.655830

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 December 2019
Revised: 8 September 2020
Accepted: 9 September 2020

Keywords:

Highway, Autonomous vehicle, penetration rates, traffic flow, traffic safety, comfort

ABSTRACT

Autonomous vehicles will form the future's urbanization and transportation. And they will be a cornerstone in the future's transportation system. On this context penetration of autonomous vehicles to existing transportation and traffic system is going to take tens of years that aforementioned transportation mode and conventional vehicles (automobiles) are going to constitute a heterogeneous traffic. In terms of these, traffic flow, traffic flow velocity, traffic order and continuity, traffic safety, lane discipline, following distance, comfort and related elements are going to show a continuous change according to various penetration rates. Taking a stability of these trend can get a trend which equals to tens of years. It is expected that traffic order of autonomous vehicles are going to improve various elements as traffic efficiency, parking place savings, traffic flow velocity, traffic safety and travel kilometers. But within aforementioned heterogeneous traffic flow, in medium term all of these features can be expected to show big changings on the context of mixture traffic characteristics and implementation experiences. For good management of this process, at that moment it is a necessity to god understand, analyze and interpretation of these on a multi-phase approach. In this paper firstly the main features of autonomous vehicles are discussed. After these, existing case of autonomous vehicles is evaluated and levels of autonomy and autonomous vehicles are entreated. Within this scope the satisfactory by user of autonomous vehicles is examined and conclusions and recommendations are shared.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ
✉ mckiziltas@ticaret.edu.tr

Giriş

Otonom araçlar (OA) muhtelif faydalar temin etmek ve de muhtelif maliyetler empoze etmektedir. Otonom araçlar (OA) sürücü stres ve bıkkınlığını azaltabilir. Kendinden sürürlü araçlar yolcuların seyahat esnasında daha üretken olmasına ya da dinlenmesine imkân tanımak sureti ile hareketli (mobil) oyun odaları, ofisler ya da yatak odaları halini alabilmektedir. Bu da seyahat süresi birim maliyetlerini azaltması muhtemel bir durumu teşkil etmektedir.

Diğer bir taraftan ise de kendinden sürürlü araçlar yeni stres ve konforsuzluklar da üretebilmektedir. Bu çerçevede temizlik ve Vandalizm maliyetlerini en aza indirmek için kendinden sürürlü taksiler ve otobüsler güvenlik kameraları, küçük aksesuarlar ve sıkı bir içyapıya sahip olmaktadır (sentetik koltuklar ve paslanmaz çelik yüzey). Talep karşılığı sürüş ise emniyeti (güvenlik) azaltacaktır ve seyahat süresi ve güvenilirliğini de azaltacaktır. Bunun nedeni ise özellikle de çıkmaz sokaklı dağınık kentsel bölgelerde her bir ilave biniş ve iniş, diğer yolculara birkaç dakikalık bir gecikme olarak yansımaktadır [1].

Otonom araçlar (OA) muhtelif donanım ve hizmetleri gerektirmektedir. Bunlar; sensörler, otomat kontrol, yazılım, hizmet birimleri (server), güç kaynakları, telsiz ağlar, kısa mesafeli araçtan araca iletişim, uzun mesafeli haritaya erişim, yazılım yükseltmeleri, karayolu raporları, seyrüsefer (navigasyon), küresel konumlanma sistemleri (KKS_GPS), özel yüksek kalite haritalar ve kritik unsur test ve bakımındır.

Trafik Güvenliği ve Emniyeti:

- Donanım ve yazılım bozulmaları
- Kötü niyetli hekleme
- Artan risk alma
- Dizi riskleri
- Artan ortalama araç seyahatleri
- Otomobil dışı yolculara ilave riskler
- Geleneksel güvenlik stratejilerine yatırımların azaltılması

Avukatlar iddia etmektedir ki otonom sürüş trafik tıkanıklığı, enerji tüketimi, kirlilik salımları, karayolu ve otopark tesis maliyetleri dâhil olmak üzere harici maliyetleri azaltacak olmasına karşı söz konusu bu faydalar ise belirsiz olmaktadır. Daha etkin olması adına otonom araçlar (OA) dizi için münhasır şeritleri gerektirmektedir. Bu sadece kademeli olarak bölünmüş otoyollarda uygulanabilir.

Önceki araç teknolojisi tertibi ile edinilen deneyim:

- Otomatik iletim
- Hava yastıkları
- Hibrid araçlar
- Abonman araç hizmetleri
- Araç seyrüsefer sistemleri

Otonom araç (OA) tasarımı ve programlanmasında kullanıcı ve toplumsal hedefler arasında potansiyel çelişkiler bulunmaktadır. Örneğin eğer ki uyuyan yolcuların konforunun maksimize edilmesi (azami hale getirilmesi) programlanıyor ise trafik hızlarını düşürebilir ve de eğer ki işgalcileri korumak için programlanıyor ise de diğer karayolu kullanıcılarına olan kaza riskini artmaktadır. Çeşitli faydaların teşekkül etmesi ise de otonom araçlara (OA) münhasır şerit gerektirmektedir. Bu söz konusu gereksinimlerin şeffaflık, fiyat, tanzim ve tahkimi hakkında tartışmalar ortaya çıkmaktadır [1].

Otonom araçların (OA) faydaları, maliyetleri, seyahat etkileri, hız ve tüketici talepleri hususunda ise dikkate değer ölçülerde belirsizlikler bulunmaktadır. Otonom araç (OA) faydaları ile ilgili abartılı ve söylentiden ibaret olan birçok tahmin söz konusu olmaktadır. En iyimser tahminler ise kişisel bilgisayarlar, akıllı telefonlar ve dijital kameralar gibi diğer yenilikçi teknolojiler dâhilindeki deneyimlere dayalı olarak endüstride finansal ilgiye sahip insanlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

2020'ler ve 2030'lar boyunca birçok kentsel alanda kendinden sürürlü taksiler ve mikro toplu ulaştırma hizmetleri elverişli hale gelmiş

olacaktır. İnsan sürüslü taksilerden daha ucuz olup kendinden sürüslü taksiler tahmini olarak 0,60-1 ABD doları/mil maliyetinde olacak olup mikro transitte (küçük toplu ulaştırma) ise bu söz konusu durumun 30-60 sent/mil olarak ortaya çıkması öngörülmektedir. Fakat daha düşük hizmet kalitesi önermektedir, öyle ki temizlik ve bakım maliyetleri minimize edilmekte olup dâhili donanım ise metal ve plastikten oluşmaktadır, araçta yolcular ise kamera ile izlenecektir, yeni binen yolcular öncekilerin çöp, koku ya da lekeleri ile karşılaşabilecektir [2].

Otonom araçlar (OA) kendi mücavir alanını algılayabilme ve de insan müdahalesi olmaksızın hareket edebilme yeterliliğinde olan araçlardır. Bu araçlar aynı zamanda sürücüsüz, kendinden sürücülü, insansız ya da robotik araçlar olarak da bilinmektedirler. 2016 yılında ise Uluslararası Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (SAE_OMT) ilk olarak 2014 yılında ortaya koymuş oldukları otonom araçlar (OA) ile ilgili terminolojilerini değiştirmiştir ve otonom araçların (OA) düzeylerini otomasyon kademelerine göre belirlemişlerdir. Bu konuda Otomotiv Mühendisleri Topluluğunun (SAE_OMT) düşüncesi ise de söz konusu düzeylerin şekilsel olmaktan çok tanımlayıcı, yasalarla ilgili olmaktan çok teknik olduğuna temellenmektedir. Bunların pazar penetrasyonları ile ilgili olarak ise herhangi bir çıkarım ya da ifade bulunulmamıştır.

Otonom araçlar (OA) birçok veçhe dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Bunlar:

- Teknik
- Yasal
- Trafik güvenliği
- Çevresel
- Pazar penetrasyonu
- Ahlaki (etik)

Veçhelerden (aşama) mütevellittir.

Yeni teknolojiler yakıt tüketimini azaltmak sureti ile araç salımlarını önemli ölçülerde azaltmaktadır.

- Çeşitli uzman görüşlerine göre sürücüsüz araçların hızlanma ve yavaşlama etkinliklerinin optimizasyonu vasıtası ile yakıt tüketimi %60'lara varan şiddetli azalmalar göstermektedir.
- Otonom araçlar (OA) birbirleri ve çevre ile etkileşime elverişli olduklarından dolayı kontrol edilmiş hız dâhilinde diziler halinde organize olabilirler. Bu da yakıt tüketiminde %5 ila %20'lik bir azalmaya işaret etmektedir.
- Araçtan araca iletişimi kullanan ileri seyrüsefer (navigasyon) sisteminden dolayı da yakıt tüketimindeki ciddi azalmalar özellikle de kalabalık kentsel trafik başta olmak üzere trafik tıkanıklık zonlarının önlenmesi yolu ile temin edilmektedir [3].

Tam otomat sürüşün başarılması adına takipte; çeşitli teknik konular çözümlenmelidir ve otomobil endüstrisi de bu işe odaklanacak gibi görünmektedir. Bütün devrim niteliğindeki yeniliklerde olduğu gibi sürücüsüz araçlardaki teknik gelişmeler tanzim edici (düzenleyici) işlemlerden daha ileri boyutlarda seyretmektedir. Dünya genelinde ise de karayolu trafiğinin bütün aşamaları ile ilgili düzenlemeler ana amaç en iyi karayolu güvenliği olacak bir şekilde yapılmaktadır böylelikle de otonom araçlar (OA) en azından öncülleri kadar ya da daha fazla güvenli olduklarını ispatlamak durumundadırlar. Sonuç olarak yasal zorunluluklar; kamu politikaları, trafik kodu, teknik standartlar ve haksız fiil hukuku dâhil olmak üzere en kritik konular arasında yer almaktadır. Örneğin telli direksiyon teknolojileri uzun bir süredir elverişlidir ve fakat araçlara entegre edilememiştir çünkü 1968 yılında Viyana'da imzalanan karayolu güvenliği toplantısı ortaya koymuştur ki aracın güzergahını belirlemek adına direksiyon sistemi dönen tekerlek ve diğer tekerlekler arasında mekanik bir sınırlılığı içermektedir.

Materyal ve Yöntem

Bütün kendinden sürüslü araçların uç (ekstrem) ve acil durumlarda en doğru kararı verip vermediği noktası önemlidir. Bir yaya geçişine yakın bir noktada trafik ışığının araçlar için yeşil

olduğu bir çerçeve tasavvur edildiğinde bir yayanın aniden yola atıldığı durum göz önüne alınabilir. Belirlenen karayolu geçiş yerinin ekstrem bir ihtiyat dahilinde yakınlıkta olması ve aracın hızının da yaya geçişinden önce durmaya elverişli olmak adına yeterince az olması bir kural olmasına karşın eğer gerekir ise yayalar eğer ki bir risk olmadığına inanırlarsa yoldan geçebilirler. İşte bu noktada doğru kararın ne olacağı noktası oldukça önemli olmaktadır.

Şüphe yok ki sürücüsüz araçlara ilgi artmaktadır. 2015 yılında bu bağlamda Boston Danışma Kurulu tarafından icra edilen bir saha çalışmasına göre potansiyel araç müşterilerinin %55'i bir yarı otonom aracı (OA) satın alabileceğini söyler iken bir diğer taraftan ise de %44'ü tam otonom bir aracı satın alabileceklerini belirtmişlerdir. Bu kapsamda bütün ana otomobil üreticileri bu söz konusu talebi karşılamak üzere çalışmaktadır. Uluslararası bir pazar araştırma şirketi olan HIS verilerine göre ise 2020 yılında 4 ve 5. düzeyden otonom araçların (OA) pazar payı %0,004 (4200 araç) olacak olup bu oran 2025 yılı itibari ile ise %0,5'e (578.000 araç) yükselecek iken 2030 yılı itibariyle ise de %3,8'e ulaşacaktır (4.503.000 araç) [4].

Otonom Teknolojileri

Otonom teknolojileri günden güne daha sofistike bir hale gelmektedir ve de teknik erişilebilirliği artmaktadır, bazı durumlarda ise de ticari araçlarda halihazırda kurulmuş vaziyettedir. Muhtelif araç üreticileri 2017 yılı itibari ile yüksek otomat araçları üreteceklerini duyurduklarından dolayı da otonom araçların (OA) yakın bir gelecekte gelişmiş ülkelerde görünürlüğünü arttıracığı hususu gerçekçi görünmektedir. 2030 yılı itibari ile çok ciddi sayıda sürücüsüz aracın yollarda seyrüsefere başlayacağı tahmini yürütülebilir.

Bu kapsamdaki çalışmalarda bir otonom aracın (OA) ne olduğuna ve otonom kılavuzluk seyrüsefer ve kontrol (AGNC_OKSK) algoritmasının kabaca bir testi için planlanan aracın bir simülasyon modelinin

gerçekleştirilmesine odaklanılmaktadır. MATLAB ve SIMULINK; bu söz konusu modelin gelişimi için bir platform olarak kullanılmaktadır. Model, otonom kılavuzluk seyrüsefer ve kontrol (AGNC_OKSK) algoritması tarafından kumanda edildiğinden dolayı dönme açısına dayalı olarak aracın bir sonraki konumu ve doğrultusunu hesaplamak adına geliştirilmektedir. Bu da yenilenmiş bir radyo kontrol araç şasesini kullanan otonom aracın (OA) küçültülmüş bir modelinin tasarımına öncülük etmektedir. Otonom araç (OA) ardından engel önleme dahilinde bunu önceden belirlenen bir coğrafik konuma seyrüsefer etmek adına kızıl ötesi sensörler ya da ultrason ve bir küresel konumlanma sistemi (GPS_KKS) ile donatılmaktadır.

Otonom araçlar (OA) ya da otomat kılavuzlu araçlar (OKA_AGV) bir sürücüsüz hareketli robot olup muhtelif orta mesafeli (hava ya da su) uzaktan kumanda vasıtası ile ya da bir yüzey boyunca (karasal otomat kılavuzlu araç) kontrol ve seyrüsefer edilebilmektedir. Otonom araçlar (OA) yakın bir dönemde robotiğin bir alt kümesi olarak geliştirilmiştir ve üç temel şekilde teşekkül etmektedir. Bunlar ise hava, kara ve denizaltıdır. Otonom araçlar (OA); insansız hava araçları (İHA), sualtı keşif ve endüstriyel taşıma gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmak adına geliştirilmektedir. Otonom araçların (OA) muhtemel uygulamaları; diğer gezegenlerin yüzeyinin keşfi için ve örneğin yeraltı suyu boru hatlarının hat entegrasyonunun incelenmesi, radyoaktif alanlar ya da kimyasal yangınlar gibi insan hayatı için oldukça tehlikeli olan alanların incelenmesi bağlamında hassas bir şekilde teşekkül eden uçuşu ihtiva etmektedir. İnsansız hava araçları (İHA) otonom araçların (OA) genel sınıfı olup temelde askeri kuvvetlerin keşif amacı ile kullanılmaktadır. Karasal otomat kılavuzlu araçlar (OKA_AGV) söz konusu bu araçların çoğu örneği bomba imhada olduğu gibi günümüzde askeriye için kullanılıyor olmasına karşın halen geliştirilme aşamasındadır, hâlihazırdaki mahiyet dâhilinde da otomat kılavuzlu araçların (OKA_AGV) mevcut

durumdaki ulaştırma araçlarının çoğu ile yer değiştirmesi kuvvetle muhtemeldir. Bir otonom aracın (OA) birincil görevi aracın karşılaşılabileceği herhangi bir engeli önlediğinde önceden programlı bir güzergâhı seyrüsefer etmektir. Münhasır yerde ve mücavir alanında ne olduğunu görmek adına sensörlerin kullanılması sureti ile araçlar bu görevi başarabilirler [5].

Temel Araç Nitelikleri

Otonom araç (OA) aracın karşılaşması muhtemel engelleri önlerken bir ön programlı güzergâhı seyrüsefer etme ihtiyacı hissetmektedir.

- Araç: Boyutlandırılmış model araç
- Araç tekerleği: 4 teker
- Sürüş gücü: arka teker
- Dönme: ön teker
- Güç tipi: batıri gücü
- Minimum hız: 3 km/saat
- Maksimum hız: 6 km/saat
- Dönme açısı: hem sağ hem sol için 30°
- Temiz, açık gökyüzü: araç sadece dışarıda kullanılmalıdır.
- Seyrek dağınık engeller dâhilinde sert yüzeyde hemzemin olarak kullanılır.
- Engeli aşmak için dur ve dön etkinlikleri ile 50 santimetre mesafede engel algılamaktadır.

Matematiksel modeller bir sistemin nihai tamamlanmış modelinin önemli bir unsurunu teşkil etmekte olup esasen mahiyet, fiziksel, matematiksel, görsel ve muhtemelen istatistiksel alt modellerin bir toplamıdır. Hemen hemen bütün matematiksel modeller kısıtların çıkartılması yolu ile üretildiğinden ve de modellenmesi gereken sistem hakkındaki kullanışlı bilgiden çıkartıldığından dolayı da hâlihazırdaki hiçbir model bu söz konusu problemde doğrudan kullanılabilir üzere uygun bulunmamaktadır.

Araç hareketini karakterize eden matematiksel denklemler, Newton'un 2. hareket yasasının uygulanması sureti ile uygulanmaktadır ve de kısıtlar da ilgili bağıntılardaki kabuller tarafından empoze edilmektedir. Gövde hareketi ile ilgili

üretilen denklemlerin kullanılması dâhilinde SIMULINK modeli geliştirilmektedir. Destekleyici MATLAB tip 2 fonksiyonları ise SIMULINK'teki blok diyagramlarındaki magenta (mora çalan kırmızı) rengi ile gösterilen özel bloklar için üretilmektedir [6].

Simülasyonlar amaç başına olacak şekilde model doğrulamanın sınırlı test amaçları dâhilinde yürütülmektedir. İtme kuvvetinin değişen değerleri ile dönme açısının söz konusu bu muhtelif terkipleri için kullanılmaktadır. Grafiklerden gözlemlenebileceği üzere itme kuvveti artarken nihai hız da artmaktadır, eş anlı olarak toplam döngüsel güzergâh da tamamlanmaktadır. Aynı itme kuvveti altında dönme açısı büyüdükçe dönme sayıları da artmaktadır.

Grafikler açık bir şekilde göstermektedir ki model yeterli ölçüde çalışmaktadır ve girdi başına çıktı üretilmektedir. İlk grafikte araç düz bir çizgide ilerler iken bu dönem açısının sifıra eşit olan değeri dâhilinde gerçekleşmektedir. İkinci grafik göstermektedir ki araç dönme açısının sinusoidal dalgaya göre değişmesinden dolayı sinusoidal bir güzergâhta hareket etmektedir.

Uygulama ve Başarımlar

Problem başlangıçta nispeten kolay görünmesine karşın bir dizi saklı zorluk bulunmaktadır. Literatür araştırmasının yürütülmesi sureti ile de gözlemlenebilmektedir ki çalışma, yürütülen akademik çalışmaların yanı sıra profesyonel versiyonları için de çok boyutlu bir ilerleme sergilemektedir. Sualtı senaryosundaki otonom araç (OA) uygulamaları ise hava uygulamalarının yanı sıra kara uygulamalarında da muhtelif kurumlar tarafından çalışılmaktadır. Bu tarz çalışmalar kapsamındaki hedef bilahare bir karasal otonom aracın (OA) küçültülmüş bir modelinin gerçekleştirilmiş bir halinin güncel olarak kullanılışılığının ortaya konulmasıdır.

Karasal araç için basitleştirilmiş bir model geliştirilmiştir. Model; dönme açısı olan ve

başarılı bir şekilde çalışan girdi değişkenlerinin muhtelif değerleri ile test edilmektedir. Model; kılavuz ve kontrol algoritması tarafından üretilen komutların doğruluğunun niteliksel olarak sağlanması için kullanılabilir. Daha ileri gelişmeler ise aynı zamanda da daha gerçekçi bir yol ile başarmak adına yapılabilmektedir ve ardından da kontrol algoritmasının nitelik testi için kullanılabilir.

Carl Benz 1886 yılında otomobili keşfettiğinden beri birçok önemli araç mahiyeti geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları taşımacılık tasarımı ve gövde altına şasi ve tekerleklerin entegrasyonunun terki gibi daha önceki mahiyetlerin kalkması ve mantıksal olarak sürekli gelişimi ile ilgili olabilmektedir [7]. Araç mahiyetini etkileyen ana unsur aracın kullanım amacıdır. Bu durum özellikle de ticari araçlar dikkate alındığında görülmektedir. Bunun ile de beraber geniş bir çeşitlilikteki yolcu araçları üstü açılır arabalardan geliştirilmiştir ve de istasyon vagonları ve minivanların (hafif ticari) yanı sıra ara sahibinin yaşam tarzına göre sedan ve kısa kasa araçlarla kullanım amacına göre arazi araçları da niteliklendirilmiştir. Kullanım tipi dahi; küçük teslimat kamyonetleri, minibüsler ve diğer pazarlarda hafif kamyon olarak bilinenler için oldukça önemlidir. Yakından bakılacak olur ise arka tekerlek çekişli boyuna yerleştirilmiş motorların hâkimiyetinden sonra son on yıllar içerisinde ön tekerlek çekişli enine kurulu ön motorlara doğru bir kayış söz konusu olmuştur. Dahası hâlihazırda güç trenlerinde elektrifikasyona doğru bir eğilimi söz konusu olup bu da CO₂ şartnameleri, daha az gürültü salımları ve diğer avantajları dayalı olarak daha fazla sürdürülebilirlik dâhilinde değerlendirilmektedir. Bütün bu değişimlere karşın, mahiyetlerin söz konusu bu çeşitliliğinin desteklenmesi adına muhtelif pazar kesimleri tarafından sürdürüleceği bağlamındaki amaçların optimizasyonu üzerindeki uyumsuzlıklardan dolayı hâlihazırdaki sürüş mahiyetinin ortadan kalkması beklenmemektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde kırsal bir alan, Çin'in

büyük bir kentine nazaran nerede ise bütünü ile farklı sürüş gereksinimlerine sahip olmaktadır.

Pazarda bulunan araç modellerinin çeşitliliği ise motor şovlarda gösterilen araçların mahiyet çeşitliliği ile paralellik göstermektedir. Destek (asistan) sistemleri ve kısmi otomasyon tanıdık araçlar için çok az durumlarda mahiyet değişimini ifade etmektedir. Araçlardaki daha zayıf dış görüntünün olduğu geçmiş yıllar boyunca görsel eğilimi, gövde rijitliği ile ilgili gereksinimler ya da tarz gereksinimine göre tanzim edilmektedir, bunun ile de beraber ultrason otopark yardımları, arka görüntü kameraları ya da mücavir alan görüntüleri gibi telafi edici sistemlerin kullanımını desteklemektedir. Bunun ile de beraber sürücü destek sistemleri genelde çok azı bir araç model dizisi için standart donanımı içermekte olduğundan dolayı mahiyeti değiştirmemektedir. Sonuç olarak araç üreticileri araç tasarımı adına gerekli olmaktadır bu neden ile de donanımı olmayan sürücüler tarafından güvenli bir şekilde sürülebilmektedir.

Aşağıdaki alanlar arasında bir ayırım yapılmaktadır:

- Araç gövdesi
- Sürüş
- Şasi
- Dâhili donanım
- İnsan makine ara yüzü (HMI_İMA)

İki kullanım durum olan 'eyaletler arası pilot' ve 'tam otomasyon' oldukça farklı yetkinliklere sahip iken bir diğer taraftan ise de otonom sürüşe geldiğinde ise bir farklılık yoktur, araç mahiyetlerini değerlendirmeye geldiğinde ise de her iki kullanım durumu da ileri düzey yetkinlik için elverişli bir sürücüye sahip olmak ile sınırlandırılmış bir durumdadır. Tam otomasyon kullanım durumu için otonom sürüş daha ileri bir düzeyde kullanılabilir ve devir teslim daha az talep edilmektedir. Bunun ile de beraber her iki durumda da araç kılavuzluğunun ileri elverişlilikteki bir sürücü gibi münhasır işlevde sürücü ehliyeti olan bir insan tarafından kısıtlama olmaksızın muhtemel olmaktadır.

Dolayı ile her iki durum için de araç kılavuzluğu otonom ya da manüel, karma bir tür gibi desteklenmektedir [8].

Sensörler otonom sürüş için otonom araçlar (OA) adına adeta her yeri inceleme açısını temin etmekte olup eğer günümüzde akıllı görüş hedefleniyor ise karmaşık paket çözümlerde net netice alınabilecektir. Eğer ki bir standart, esasen otonom sürüş adına bir yetkinlik için teşekkül ettirilmişse, bu geliştiriciler için faydalı olacaktır zira doğru bir algı üzerinde üstün sensör konumunu işgal etmek adına uygundur.

Otomasyon ve Manüel Sürüş Değerlendirmeleri

Otonom olmayan benzeri araçlardan ziyade potansiyel olarak kalan manüel seyahat kesimleri için sürüş mahiyetinin farklı değerlendirmek adına hiçbir sebep yoktur. Bununla beraber otonom sürüş manüel sürüşe kıyasla, daha verimli bir sürüşü muhtemel kılmak adına trafik telematikleri ile etkileşimi kolaylaştırmaktadır. Sürüş özellikleri; zaman ve enerji gereksinimlerine bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. İlkel olarak söz konusu bu seçenekler hâlihazırda kısmi ya da yüksek otomat sürüş işlevleri dâhilinde araçlar üzerinde elverişli olmakta olup bu da otonom sürüşün bir sonraki adım boyunca sürüşü mahiyetinde çok az değişimi sonucunu ortaya çıkartmaktadır. Bu da bateri elektrikli sürüşler gibi indirgenmiş bir elverişlilik dâhilinde sürüş mahiyeti faydasını doğuran daha ziyade yeni bir ağ seçeneğidir.

Manüel sürüş standart gereksinimler dâhilindeki bir şasiyi gerektirir iken bir diğer taraftan ise de otonom sürüşün uzun aşamaları işgalcileri sürüş işleminden çıkarmaya imkân tanımaktadır. Otomasyon, ne araç hızlanması nedeniyle işgalcileri etkileyen enine ne boyuna kuvvet ve ne de sürüş dinamikleri için elle tutulur bir hassasiyeti gerektirmektedir. Bu; araç hareket sensörlerine dönebilir olup yörünge düzenlenmesi ve böylelikle de dinamik ve konforlu hale getirilmesi adına elektronik denge kontrolü için uzun zamandır kullanılmaktadır.

Otonom sürüş, sürüş süresine bağlı olarak araç mahiyetine göre daha az bir değişim göstermektedir. Hâlihazırda 1,5 kişilik değerindeki araç işgal istatistiği dâhilinde bu kişilerin çoğunluğu, okuma, çalışma ya da uyuma gibi günümüz yolcusu için elverişli olan seçeneklerin tercihini yapabilecek durumda değildir [9]. Otonom sürüş bunu mümkün hale getirmektedir. Buna ilave olarak da etkinlikler, 4 boyutlu sinemayı ifade eden mücavir alan sesi ve büyük bir ekran üzerinde çoklu ortam toplantısı gibi izin verilmeyen dikkat dağınıklıkları ile sonuçlanabilir. Kullanıcı grubuna daha ileri bir değişim söz konusu olmaktadır. Daha önceleri sürüş otoritesine sahip olan bir sürücü her zaman için gerekliydi. Bu kısıt artık tamamen aynı şekilde devam etmeyecek olup bu da hâlihazırda araçtaki yolculardan herhangi birisi olabilen yeni bir kullanıcı, otonom aracı (OA) kullanabilir durumdadır. Bu kişi, otomobil kullanma izni olmayan bir engelli ya da yaşından dolayı otomobil kullanma izni olmayan bir genç ya da çocuk da olabilir. Buna bağlı olarak aynı zamanda araç ve işletimsel mahiyet de bu söz konusu yolcular için uyarlanmalıdır.

Eğer ki odak noktası bireysel araçlara kadar uzatılır ise sistem sınırları, çevre ve diğer karayolu kullanıcıları ile etkileşimi içermek adına bu kapsamda genişletilmektedir. Araçların bağlantılar arasılığı erken dönemdeki bütün araçlar için teknoloji olarak teşekkül etmekte olup bu da otonom sürüşün trafiğe ilk girişinin temelinde yeni hiçbir şey getirmeyeceği sonucunu çıkartmaktadır. Bunun ile de beraber araçların otomasyonu aynı zamanda muhtemel yeni kullanım şekilleri ortaya çıkartmak sureti ile münhasır performans yeterliliği artışları ortaya çıkartmaktadır. Otonom araçlarda (OA) öngörülen daha yüksek hassasiyet düzeyleri ise elektronik kontrollü manevraların hâlihazırda trafikte bu şekilde zar zor makul olabilen bir ihtimaliyete haiz olmaktadır. Bu fırsatlar özellikle de dar sürüş şeritlerinde sürüş ya da araçlar arasındaki oldukça küçük mesafeler dâhilindeki bir konvoy sürüşünü de içermektedir.

Birim zamanda trafik alanından geçiş yapan trafik unsuru sayısı artmaktadır [10].

Sonuçlar ve Tartışma

Seyahat talebi ve trafik hızının artırılması sureti ile ve de toplu ulaştırmanın devre dışı bırakılması dâhilinde trafik tıkanıklığı, kentsel dağılma ile ilgili maliyetler ve hareket dengesizliğini de tetiklemektedir. Örneğin eğer ki otopark ücretli ve karayolu ise ücretsiz ise otonom araçlar (OA) otopark için ödemeyi engellemek, trafik tıkanıklığı ve benzeri problemlerin artışı önlemek adına caddelerde seyrüsefer yapabilirler. Bazıları otonom araçların (OA) toplu ulaştırmaya olan gereksinimi ortadan kaldırdığını savunmaktadır ve fakat yüksek kapasiteli toplu ulaştırma halen ana seyahat koridorlarında bir ihtiyaç olmaya devam edecektir ve otonom teknolojileri duraklar ve istasyonlara erişimin geliştirilmesi ve işletim maliyetlerinin azaltılması sureti ile toplu ulaştırmayı destekleyebilmektedir.

Şu politikalar faydaların maksimize edilmesine destek olabilir:

- Güvenlik ve verimlilik için yeni teknolojilerin test ve tanzim edilmesi
- Ahlaki ve toplumsal hedeflere dayalı olarak otonom araçların programlanması gereksinimi
- Çelişkileri, trafik tıkanıklığını ve riskleri minimize etmek adına karayolları ve kurb yerlerinin etkin bir şekilde tanzim edilmesi ve ücretlendirilmesi
- Devlet yollarında az yolculu araçlara karşı çok yolculu ve paylaşımlı araçların desteklenmesi
- Ana seyahat yollarında yüksek kapasiteli toplu ulaştırmanın desteklenmesi
- Paylaşımlı araçların avantajını elde etmek adına otopark gereksinimlerinin azaltılması
- Kentsel dağılmanın etkinliğini azaltmak adına fiyat gelişiminin etkin bir şekilde uygulanması
- Caddelerin yeniden tasarımı ve kentsel yaşanabilirliğin geliştirilmesi için araç trafik azaltmalarının kullanılması

Otonom araçların (OA) yakın zamanda ticari olarak elverişli olabileceğine dair yakın dönem duyuruları ümit vermektedir ki söz konusu bu teknolojiler çoğu ulaştırma problemini hızlıca çözebilmektedir. 2030 yılı itibari ile bu gibi araçların yeterince güvenilir bir hal alarak insan sürücülü araçların yerlerine ikame olmaya başlayacağı savunulmaktadır [11].

Özetle otonom sürüş dâhilinde kimse seyahat süresince sürüş ile sürekli sorumlu değildir. Muhtelif kullanımlar araç içyapısı üzerinde ve insan makine etkileşiminin tasarımı ile ilgili dikkate değer etkilere haizdir.

Çevre ile bağlantıdaki değişimler anlamına gelen sürüş görevinde sorumluluk almak ise mümkün olmaktadır. Bu görsel eşleştirme ve yolcu üzerindeki dinamik sürüş ve karayolu yüzeyinden kaynaklı kuvvet etkilerinin ayrıştırılması için algısal bir kanala uygulanmaktadır. Bu durum şasiler için başarılması çok zor bir husus değildir ve fakat yolcular için ise aciliyet arz eden bir duruma işaret etmektedir.

Otonom sürüş her zaman bir telli tahrik edici kontrol vasıtası ile yürütüldüğünden dolayı çok yüksek düzeydeki bir hareket kontrolü hassasiyeti kabulü yapılmaktadır. Bir taraftan bu özellikle de eğer ki insanlar tarafından döndürme hareketi daha fazla planlanmıyor ise sadece yuvarlanmaya karşı direnç için yeterli olmayan bir kullanım alanı dâhilinde muhtemeldir ki araçlardaki yuvarlanmaya karşı gereçler ile bağlantı durumu dâhilinde dahi yeni dönme mahiyetlerine imkân tanımaktadır. Diğer taraftan ise söz konusu bu hassasiyet araçtan araca kütle aktarımı gibi günümüzde halen pek de olağan görülmeyen mahiyetlere imkân tanımak adına ya da altyapıdan daha iyi faydalanmak adına aynı hassasiyet düzeyi ile diğer otonom araçlara (OA) bağlantı imkânını oluşturmaktadır [12].

Otomasyon, araç mahiyetinde devrim niteliğinde bir sıçrama değildir. Bazı mahiyetler otomasyona göre daha dezavantajlı olmasına karşın, dört tekerlekli yolcu aracı gibi klasik araç

mahiyetlerinin, otomat karayolu trafiğine baskınlığının devam etmesi beklenmektedir. Bunun ile de beraber uygun alanlarda ortaya çıkan yeni fırsatlar söz konusu olmakta olup sadece bu söz konusu mevkilerin cazibesi, genel münhasır motorlu taşıt için olan mahiyetin üstünlüğüne nazaran daha ziyade belirli düzenlemeler ve erişim kontrolü dâhilinde yürütülmektedir.

Günümüzde hâlihazırdaki durumda olduğu gibi otonom araçlar (OA) için mahiyetin belirlenmesi ve özellikle de araç dâhili tasarımının simüle edilmesi sureti ile seyahat süresi kazançları gündemde olacaktır. Otomat sürüş teknolojisi günümüzdeki pazar üzerinde oldukça muhtelif olumlu sonuçları ortaya çıkartacaktır.

Bir taraftan hareketli oturma odası, ofis ya da yatak odası gibi hizmet eden koltuklu sedanları (aile arabası) andıran pahalı ve yüksek konfor tabanlı araçlar söz konusu olacaktır. Diğer bir taraftan ise indirgenmiş maliyet faydasına haiz araçlar ulaştırma hizmetleri için gerekli ekipmana sahip olmak sureti ile kullanılacak olup ve fakat küçük şehir otobüslerini andırmaktadır ve ne caziptir ve özellikle ne de konforludur. Belirtilen kullanım durumları için geliştirilen teknoloji hizmet sektöründe önemli değişimler meydana getirecek olan çok sayıda yan ürün ve ikincil ürünün ortaya çıkması sonucunu doğuracaktır [13].

Teşekkür

Birlikte mesai yaptığımız hocalarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] B. Schoettle, M. Sivak, (2014). A survey of public opinion about autonomous and selfdriving vehicles in the US, the UK, and Australia.
- [2] D.J. Fagnant, K. Kockelman, (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, *Transp. Res. Part A* 77 (Supplement C)167–181, doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.
- [3] I. Paromtchik, C. Laugier, (2015). Motion generation and control for parking an autonomous vehicle, *ICRA* 3112–3117.

- [4] J. Cui, G. Sabaliauskaite, (2017). On the alignment of safety and security for autonomous vehicles, *IARIA CYBER*, Barcelona, Spain.
- [5] J. Jansson, (2017). Decision Making for Collision Avoidance System, *SAE*, Detroit, Michigan, 2002, pp. 1–10. [2] www.redcross.org.lb (Accessed 15 March).
- [6] L. Davis, (2017), Dynamic origin-to-destination routing of wirelessly connected, autonomous vehicles on a congested network, *Phys. A* 478 93–102.
- [7] M. Ragul, V. Venkatesh, (2015). Autonomous vehicle transportation using wireless transmission, *IJET* 5 (2) 811–819.
- [8] M. Zhu, H. Chen, (2017). A model predictive speed tracking control approach for autonomous ground vehicles, *MSSP* 87, Part B 138–152.
- [9] National Center for Statistics and Analysis, (2005). National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts.
- [10] National Highway Traffic Safety Administration, (2017). 2016 Fatal motor vehicle crashes: overview, National Center for Statistics and Analysis U.S. Department of Transportation, Washington, D.C. DOT HS 812 456.
- [11] R. Mishra, A. Singh, R. Kumar, (2016) Vanet security: Issues, challenges and solutions, in: International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), IEEE, 2016, pp. 1050–1055, doi:10.1109/ICEEOT.2016.7754846.
- [12] S. E. Shladover, (2007) “Progressive deployment steps leading toward an automated highway system (AHS),” in *Transportation Research Record No. 1727*. Washington, DC: Transportation Research Board, 2000, pp. 154–161. [11] S. E. Shladover, “PATH at 20 – History and major milestones,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 584 – 592. Society of Automotive Engineers (SAE), (2016). SAE-J3016: Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-Road motor vehicles.

Demiryollarında Gelişme Eğilimleri, Yüksek Hızlı Demiryollarının Küresel Mevcut Durumu ve Ülkemiz İçin Bir Derleme

A Review of Development Trends on Railways, Existing Case on Global Scale of High Speed Railways and Turkey

Mehmet Fatih Altan^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıltaş², Yunus Emre Ayözen³

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mehmetaltan@aydin.edu.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

³ Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, yunusemre.ayozen@dmi.gov.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 11 Aralık 2019
Düzeltilme: 10 Şubat 2020
Kabul: 17 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

Yüksek hızlı demiryolları, birlikte işletim, türler arası entegrasyon, altyapı koşulları, ulaştırma politikaları

ÖZET

Ulaştırma insanlığın varoluşundan bu yana teknik ilerlemeler ve sosyal ilişkilerin sebebi ve sonucu olarak, etkilyen ve etkilenen bir konumda, entegre bir sistemin temel bileşenlerinden bir tanesini teşkil etmektedir. Dolayısı ile ekonomik, sosyal, kültürel ve politik veçhelerin hepsinin merkezinde ve sürekliliği olan bir konuma da sahip olmuş olmaktadır. Knetleşme ile karşılıklı ve birbirini etkileyen bir ilişkiye sahip olan ulaştırma entegre ve bütünlüklü bir sistem altında işlevsel ve verimli olan girdi ve çıktıları ortaya koyabilir. On yıllardır Türkiye'nin karşı karşıya olduğu ana zorluklardan birisi ise bu alanda parçalı yaklaşımlar ve entegre olmayan eylemlerdir. Bu bakış açısı ile muhtelif konularda, özellikle de knetleşme ve ulaştırmada, teori ve pratikte, akademi ve piyasa arasında teme gereksinim bunlarla ilgili entegre bir yaklaşımın geliştirilmesi olarak görülmektedir. Benzer problemler; dengeli türel dağılım, türler arası entegrasyon, insan odaklı yaklaşım ve hizmet parametrelerinin yükseltirilmesi konularında da kendini göstermektedir. Bütün bunların bir araya geldiği başlıklardan birisi de demiryollarıdır. Demiryollarının geliştirilmesi ve türel payının artırılması gerekliliklerinin her ikisi de hem yolcu ve hem de yük taşımacılığı için hem açık bir gerçekliktir ve hem de doğru bir tercihi teşkil etmektedir. Türkiye'deki mevcut durum da bu yöne doğru evrilmektedir. Yüksek hızlı demiryolları Japonya, Fransa, Almanya gibi ülkelerde son 50 yıldır demiryollarının ana ana sütunlarından birisini teşkil etmektedir ve de küresel ölçekte artan bir öneme sahiptir. Bu makalede ilk olarak küresel örnekler verilmiş ardından ülkemiz özelinde muhtemel kazanımlarından bahsedilmiştir. Ardından ise ülkemizdeki hatlar özelinde değerlendirmeler yapılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.658256

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 December 2019
Revised: 10 February 2020
Accepted: 17 Şubat 2020

Keywords:

High speed railways, interoperability, intermodal integration, infrastructural conditions, transportation policies

ABSTRACT

Transportation constitutes one of the main element of an integrated system, an affecting and affected factor, result and cause of social relations and technical improvements since the beginning of humanity. Thus it falls into as a diving power on the center of all social, economic, technical, cultural and political phases. Transportation which has a continuous and bilateral relation with urbanization can only give inputs and outputs that are functional and efficient under a system that drives integrated and completely. One of the main challenge of Turkey for many decades is a notion that have partial approaches and disintegrative acts. From this point of view, on various issues especially transportation and urbanization, theory and practice, academy and market, the main requirement related with providing integrated approach idea. Similar problems are seen on the subjects of intermodal integration, balanced modal distribution, human focused approach and enhancing the level of service parameters. One of topics which are brought by all of these problems is railways. The necessity about improvement of railways and enhancing its share on both passenger and freight transport is either an obvious reality or the true option. It is a case that the trend on Turkey has evolved to this direction. High speed railway constitutes the most effective and efficient pillar of railways with its 50 years experience on countries as Japan, France and Germany and enhancing importance on global scale. In this paper firstly global samples are given, then possible savings of it for Turkey are mentioned. Later considerations are done specific to lines of Turkey and lastly conclusions are shared.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Fatih ALTAN
✉ mehmetaltan@ticaret.edu.tr

Giriş

Geçtiğimiz yüzyılda teknik imkânlarda kat edilen mesafe paralelinde bütün ulaştırma türlerinde kullanım alanları alabildiğine genişlemiş olup yeni ihtiyaçlar kendini göstermeye başlamıştır. İçinde bulunduğumuz yüzyılın başları itibari ile ise öne çıkan nokta bütün ulaştırma türlerinin etkin ve verimli işletiminin sağlanması ile farklı ulaştırma türleri arasındaki entegrasyonun bütün aşamaları ile sağlanmasıdır. Ulaştırma sisteminin farklı disiplinler ile olan merkezi ilişkisinin de etkisi ile ekonomide kaydedilen değişim ve gelişmelerin ulaştırmada politik kararların alınması aşamasında derinlikli etkiler oluşturabildiği görülmektedir. Küresel ölçekte son 40 yılda kat edilen mesafe sürdürülebilirlik olgusunu daha fazla öne çıkarmış olup ekonomik tasarruf ve çevreci yaklaşımların aciliyetini de arttırmıştır. Söz konusu anlayış değişiminin ulaştırmaya da elbette ki doğrudan doğruya etkileri olacaktır.

Türler arası entegrasyon ve dengeli türel dağılımın önemi Japonya, Fransa ve Almanya gibi gelişmiş ekonomilerce daha erken anlaşılmış olup bu da uygulamalara yansımıştır. Avrupa Komisyonu, yüksek hızlı demiryolları başta olmak üzere demiryollarının kent içi ve kentler arası türel dağılımdaki payının artırılması, yük taşımacılığının entegre gelişimi, yüksek hızlı demiryollarının çevresel, bölgesel, türel ve uluslar arası düzeyde entegrasyonlarının sağlanması, kıta genelinde ulaştırma ağının genişletilmesi ve komşu coğrafyalar ile bağlantılarının sağlanmasını Eylül 2001’de kabul edilen Beyaz Kitap’ta alınan kararlar olarak ortaya koymaktadır [1].

Materyal ve Yöntem

Demiryolu mekân tüketiminin azlığı, farklı enerji kaynaklarının kullanımına imkân vermesi nedeniyle çevreci olması, yüksek kapasiteli çalışması gibi özellikleriyle sürdürülebilir bir ulaştırma türü olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) ise bu özelliklerinin yanı sıra, güvenlik, konfor, dakiklik, hız gibi

hizmet parametrelerini de üst düzeyde sağlamaktadır.

Ülkemiz gerçekleştirdiği Marmaray yatırımı ile sadece kent içi önemli bir bağlantıyı gerçekleştirmek ile kalmamış, aynı zamanda tarihi İpek yolu ile de bütünleşen bir projeksiyon dahilinde Pekin’den Londra’ya uzanan demiryolu ağının, Asya kıtasından Avrupa kıtasına geçişin en önemli halkasını da tamamlamıştır.

Tablo 1. 1980-1993 Yılları Arasında Yolcu Taşımacılığı Türel Dağılımı [2]

Gerçek 1980(%)	Ulaşım Ana Planı Hedef 1993(%)	Gerçek 1993(%)
94,2	94,1	95,8
4,1	4	3
0,05	0,8	1,2
1,2	1,1	0
0	0	0
0	0	0

Tablo 2. 1980-1993 Yılları Arasında Yük Taşımacılığı Türel Dağılımı [2]

Gerçek 1980(%)	Ulaşım Ana Planı Hedef 1993(%)	Gerçek 1993(%)
68,5	36	83,9
9,9	27,5	7,7
0	0	0
15	32,2	0,8
6,6	4,3	2,9
0	0	4,7

Hâlihazırda Marmaray, kent içi ulaştırma sisteminde bir tüp tünel ile boğaz geçişini sağlayan bir hat olmasının çok ötesinde kent içi ulaştırmada İstanbul’un en önemli aktarma noktalarını ifade eden bir pozisyon elde etmiş olup Anadolu sathını doğudan batıya geçen ve uluslararası ağın önemli bir parçası olan Türkiye’nin yüksek hızlı demiryollarının da en

önemli bağlayıcısı durumundadır. Tablo 1’de Türkiye’de türel dağılımda 1980-1993 yılları arasında yolcu taşımacılığındaki durum verilmiş olup, Tablo 2’de 1980-1993 yılları periyodu yük taşımacılığı türel dağılımı verilmiştir [2].

Küresel Politikalar

Avrupa Birliği, yüksek hızlı demiryolu projeksiyonlarını TER (Trans European Railway) dâhilinde ortaya koymuş olup söz konusu başlık da TEN’in (Trans European Network) önemli bir alt başlığı durumundadır. TER’in içeriğinin bir parçası olarak on dokuz adet yüksek hızlı demiryolu ağı projesi söz konusudur ve bunlardan en önemlisi ise PBKAL’dır. PBKAL (Parsis-Brüksel-Köln-Amsterdam-Lüksemburg) Avrupa sathını ihtiva edecek olan yüksek hızlı demiryolu ağının en önemli etaplarından birisini oluşturmakta olup bu hattın Amsterdam kesimi Manş Tüneli vasıtası ile Londra’ya ulaşmaktadır. Söz konusu hat tamamlandığında 200-300 km/saat’lik işletim hızlarına sahip olacak olan Trans Avrupa demiryolu projeksiyonu dâhilindedir. İleriki dönemlerde ülkemizin söz konusu projeye güneydoğu Avrupa kanadından bağlanması planlanmakta olup bu da Ankara-Eskişehir-İstanbul-Edirne-Sofya-Belgrat-Budapeşte-Viyana yolu ile gerçekleşebilecektir. 2015 projeksiyonlarında 19000 km’lik yüksek hızlı demiryolu hattı hedefi konmuştur, bu hedefin konvansiyonel ve hızlı demiryolu hatları ile birlikte ulaştığı toplam ise 30000 km’dir [3]. Bu çerçevede, yüksek hızlı demiryollarının 40 yılı aşkın bir geçmişi bulunmakta olup süreç Japonya, Fransa ve Almanya’nın sektörel liderliğinde ilerlemiştir. Bu konuda 2000’li yıllardan itibaren Çin ve İspanya çok ciddi bir sıçrama gerçekleştirmiş olup sektörün liderleri Japonya, İspanya, Çin ve Fransa olarak teşekkül etmiştir [4]. Yüksek hızlı demiryolları bu ülkelerin öncülüğünde işletim standartları, hizmet parametreleri ve altyapı koşullarını sürekli olarak geliştirme eğilimi içerisinde. Yüksek hızlı demiryolları havayolu ulaştırma türü ile ciddi bir rekabet içerisinde olup orta-uzun mesafelerde havayollarının yerini

alabilmektedir. Dolayısı ile yüksek hızlı demiryolları çevre kentler arası yolculuklarda gününbirlik bazda ideal hizmet parametrelerinde bir işletim ortaya koyabilmektedir. Yüksek hızlı demiryolları bölgesel ekonomik kalkınmalarda önemli rol oynamakta olup yöresel, ulusal ve bölgesel bütünleşmeleri de destekleyici bir unsur olmaktadır. Sektörde bahsi edilen lider ülkelerin yanı sıra Rusya, İtalya, Türkiye, Güney Kore, Cezayir, İsveç ve Britanya’da bulunmaktadır. Türkiye yüksek hızlı demiryollarına hızlı ve etkili sayılabilecek bir şekilde dâhil olmuştur, ancak bu noktada önemli olan buna süreklilik kazandırılabilmesi, kon ile ilgili AR-GE çalışmalarının aktive edilebilmesi, yerli üretimin gerçekleştirilmesi ve etkili altyapı tesisidir. Yüksek hızlı demiryollarının karayollarına nazaran oldukça az yer kaplaması, daha yakıt tasarruflu ve daha çevreci olması ve sağladığı kapasite, kayda değer avantajları olarak görülmektedir. Bu noktada enerji verimliliği ve alternatif enerji hususları ülkemiz ve ülkemizin merkezinde bulunduğu coğrafya için gündün güne daha da önem kazanmaktadır [5].

Uygulama ve Başarımlar

Daha önce belirtildiği üzere ülkemiz sektöre hızlı bir girişe paralel olarak kısa sürede önemli bir yapım sürecine girişmiştir. Ankara-Eskişehir Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı ilk açılan hattır. Takibinde, arazi koşullarının engebeli olmamasının da etkisi ile Ankara-Konya Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı kısa bir süre içerisinde tamamlanarak hizmete alınmış, akabinde Eskişehir-Konya Yüksek Hızlı Demiryolu hat bağlantısı açılmıştır. Son olarak Eskişehir-İstanbul Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) etabı bitirilerek İstanbul-Ankara Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı işletime alınmıştır. Hâlihazırda Ankara-Yozgat-Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı, Ankara-Afyon-İzmir Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı, Eskişehir-Bilecik-Bursa-Bandırma Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı inşaları hızla devam etmektedir.

Uluslararası demiryolu ağının Bakü (Azerbaycan)-Tiflis-Ahılkale (Gürcistan) Yüksek Hızlı Demiryolu hattının büyük bir bölümü de bu yıl itibariyle tamamlanmış olup bu hattın inşasına Türkiye doğrudan destek vermiştir. Bu hat; Kars üzerinden ülkemizin Ankara-Yozgat-Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars YHD Hattına bağlanacaktır. Mevcut yapım çalışmaları tamamlandığında, Azerbaycan' dan (Bakü), Edirne-İstanbul-Eskişehir-Ankara-Yozgat-Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars YHD bağlantısı ile Bulgaristan ve Yunanistan'a kadar kesintisiz YHD bağlantısı sağlanmış olup bunun merkezinde' de 29 Ekim 2013 tarihi itibariyle kısmi hat işletimi başlayan Marmaray bulunmaktadır. Marmaray'ın tam kapasite hattı olacak olan Gebze-Halkalı'nın banliyö hat rehabilitasyon çalışmalarının da 2017 yılı başları itibariyle tamamlanarak sistemin bütünüyle hizmete geçmesi öngörülmektedir [6]. Böylelikle Ankara' dan YHD bağlantısı ile İstanbul' a ulaşan yolcu, Pendik üzerinden sisteme doğrudan entegre olmuş olacak, tam kapasite Marmaray sistemi üzerinden yüksek standartla bir altyapı ve işletim düzeyi ile İstanbul'un güney aksı boyunca kentin istediği noktasına erişebilecektir. Gebze-Halkalı tam kapasite Marmaray, Halkalı üzerinden, inşası devam eden İstanbul (Halkalı)-Edirne YHD hattına doğrudan bağlanacaktır. 2016 yılı itibariyle yapımı tamamlanan ve yıl içerisinde hizmete açılan İstanbul 3.Boğaz Köprüsünün üzerinden raylı sistem de geçecek olup bu hattın da yüksek hızlı demiryolu hatları ile birleştirilmesi projeksiyonları ortaya konmuştur. Yapım çalışmaları devam eden bir başka yüksek hızlı demiryolu hattı ise Eskişehir-Bilecik-Bursa-Bandırma YHD hattıdır. Bununla beraber, Ankara-İstanbul YHD hattının Eskişehir-İstanbul etabındaki yapım çalışmaları 2015 yılı itibariyle tamamlanmış ve hizmete açılmıştır. Yine İstanbul ve Ankara arasında ikinci bir yüksek hızlı demiryolu hattı planlanmakta olup bu hat, hizmet parametreleri (hız) ve altyapı standartları itibariyle mevcut Ankara-Eskişehir-İstanbul YHD hattından ileri düzeyde olacak şekilde planlanmaktadır. Bahsi

geçen hat, Eskişehir'e uğramayacağı için daha kısa bir güzergâh izleyecek olup Sakarya'dan da geçmeyeceği için zemin koşullarından kaynaklı yersel hız sınırlamaları ile de karşılaşmayacaktır. Dolayısıyla planlanan ikinci hat ile İstanbul ve Ankara arasında bir buçuk saatlik bir seyahat süresi öngörülmektedir. Ayrıca Konya üzerinden Adana-Mersin YHD bağlantısı da planlanmaktadır. Ankara-Afyon-İzmir, İstanbul (Halkalı)-Edirne Yüksek Hızlı Demiryolu Hattı ile Ankara-Kayseri Yüksek Hızlı Demiryolu hattı da yapım çalışmaları devam eden hatlardandır. Bir diğer planlanan hat ise, İstanbul (Halkalı)-Bulgaristan YHD hattıdır [7].

Demiryolu işletim ve altyapısı ile bağlantılı konular farklı kurumlarda temsil edilir, önemli demiryolu yatırımları ile hâlihazırdaki ağ büyütülür, idari ve yapısal geliştirmeler yolu ile demiryollarının ekonomik ve yatırım sistemi revize edilir ve demiryolunun altyapısı rehabilite edilir ise ülkemizde artış göstermekte olan taşıma taleplerinde demiryollarına geçiş gerçekleştirilebilir.

Dünya ölçeğindeki ulaştırma siyasetine önemli tesirleri olan hususlardan bir tanesi de kara taşımacılığı alanındaki özelleştirme giriş ve de eylemleri olmaktadır. Taşımacılık ve telekomünikasyon alanındaki özelleştirmeler demiryolu ulaşımındaki göre daha hızlıdır, önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın henüz raylı sistemlerde söz konusu hususta bu ilerleme aynı düzeyde kaydedilememiş bir durumdur. Sürdürülen çalışmalar ve bilimsel araştırmalarda özelleştirme ile ilgili alanda yapılan girişimlerin faydalarının üretim ve verimliliğin kapasite ve yetkinliği ile ilgili olduğu görülmektedir. Öte yandan ise bazı ulaştırma özelleştirmelerinin olumlu neticeler çıkartabildiği de muhtelif gelişmiş ülkelerde ve de Avrupa Birliği (AB) sathından rastlanılabilen bir durum olmaktadır. Bu süreç ayrıca direk bir şekilde türler arası entegre bir sistemin teşekkül edilmesi ile de bağlantılı görülmektedir. Çünkü bunun temini, politik uygulamalar ile bağlantısallığı haizdir. Bu nedenle ulaştırmada sürdürülebilir bir anlayışın

tamamı ile yerleştirilebilmesi, dengeli bir türel pay yapısının meydana getirilebilmesi ve verimli bir şekilde enerji türlerinin kullanımına da bu yolla kayda değer katkı sunulmaktadır. Yüksek hızlı trenler günümüz itibari ile kıta sathında Avrupa’da türel kompozisyonun ana aksını teşkil etmektedir. Yüksek hızlı trenler türler arası entegre yaklaşımın en önemli bölümü olmayı, demiryolu üzerindeki trafik ve eğimle ilgili kısıtlara karşın sürdürmektedir [8].

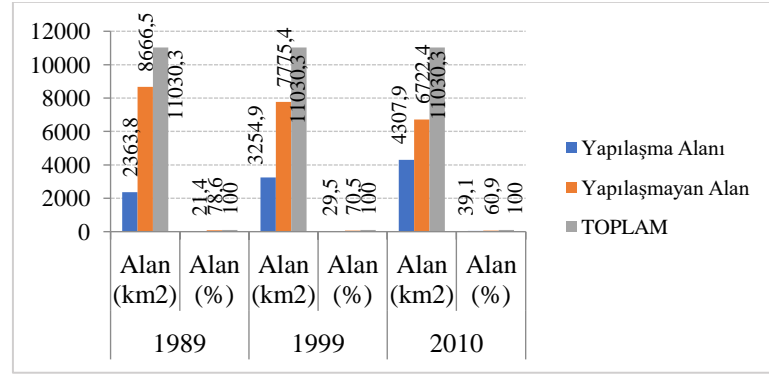
1990’lar ve 2000’ler boyunca demiryolu sektöründe yaşanan serbestleşme ve yatırımlar, küresel ölçekteki özelleştirme politikasının bir parçasıdır. Diğer altyapı sektörlerinde olduğu gibi, demiryolu sektöründe yaşanan reformlarda da geleneksel tek türlü ulaştırmanın aşılması türler arası rekabetçilik gücünün artırılması hedeflenmektedir [9].

Sektörün kurucu liderleri Japonya, Fransa ve Almanya’dır. Almanya son yıllarda ivme kaybetmiştir. Çin ve İspanya ise son 10 yılda hızlı bir atılım gerçekleştirmiş olup Fransa ve Japonya ile birlikte sektörün lideri konumuna gelmiştir. Japonya ve Fransa’da yüksek hızlı demiryollarının sistemi tahkim olmuş durumdadır, Çin ve İspanya’da ise hat kilometreler ciddi anlamda büyümüştür. İspanya’daki gelişim Avrupa Birliği (AB) politikalarının da bağlamı dahilinde önemli bir yere sahiptir.

Ülkemizde Ulaştırma Eğilimleri

Ülkemiz coğrafi konumundan ötürü Avrupa Birliği’nin söz konusu çalışmalarının çoğu zaman dahilinde ya da odağında yer alabilmekte iken diğer taraftan da Türkiye’nin bu dönemdeki yüksek hızlı demiryolu politikaları ve genel olarak ulaştırma planlamaları, Avrupa Birliği ile de çeşitli entegrasyon unsurlarını ister istemez ihtiva etmektedir. Ülkemizde verimli ve etkin bir şekilde çalışan, sorunlarını minimize etmiş bir ulaştırma sisteminin ekonomik kalkınmayı desteklemesine de ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca bölgesel entegrasyonlar dünyadaki genel siyasi

trendler çerçevesinde daha fazla öne çıkmakta ve gereklilik halini almaktadır [10].



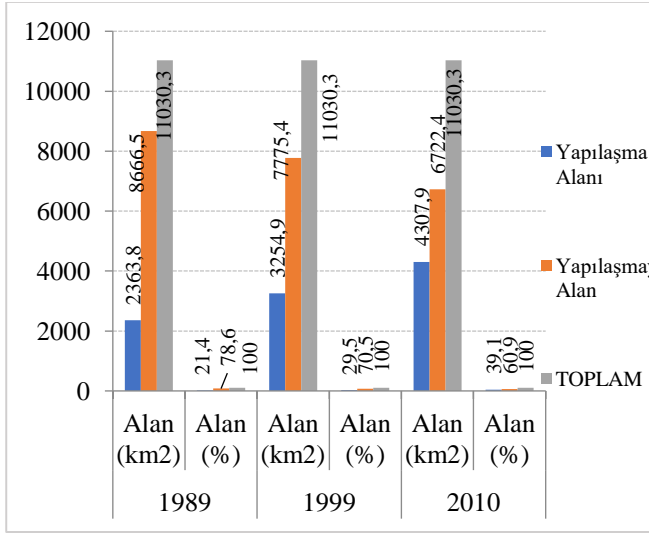
Şekil 1. Kuzeydoğu Illinois’de 2020 ve 2030 Yılları İçin Öngörülen LU/LC km²’leri ve %’leri [12]

Ülkemizde her yıl önemli oranlarda trafik kaza kayıpları yaşanmaktadır. Türel dağılımda hem yük hem yolcu taşımacılığında karayolu ulaşım türünün %90’ların üzerinde bir paya sahip olması, mevcut altyapıyı yetersiz hale getirmektedir [11]. Şekil 1’de karayolu ulaştırma türünün ve özel otomobil kullanımının baskın olduğu Amerika Birleşik Devletleri’nin (A.B.D.) Illinois bölgesinin gelecek arazi kullanım öngörülere yer almaktadır [12].

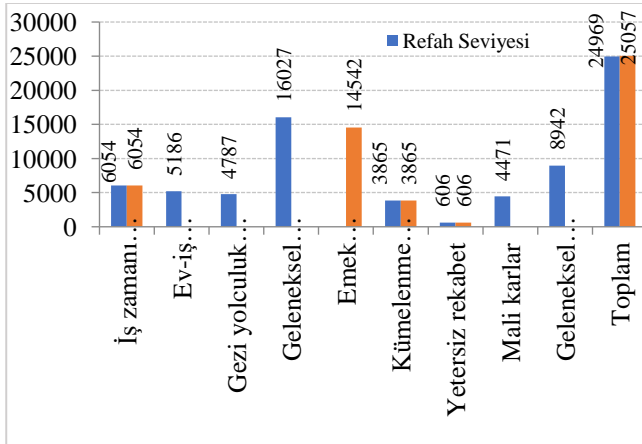
Şekil 2’de ise Amerika Birleşik Devletleri’nde (A.B.D.) Chicago kentinin yıllara göre arazi dağılımları verilmektedir [13]. Dolayısıyla, ülkemizde trafik güvenliğinin sağlanmasında, karayollarında altyapının iyileştirilmesi, akıllı ulaşım sistemlerinin kullanımı, eğitim ve benzeri çalışmaları yapılmasının yanı sıra, türler arası entegrasyon ve dengeli türel dağılımın sağlanması da önemli bir çözüm ve zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Dengeli türel dağılımın sağlanmasında, hem yük hem yolcu taşımacılığında öne çıkan ulaştırma türü demiryoludur. Bu nedenle, demiryolunun altyapı ve işletim standartlarının en üst düzeyde sağlanması, hizmet parametreleri dolayısıyla ekonomik, sosyal ve çevreci bir ulaştırma türü olan, yüksek hızlı demiryolu ile mümkün olmaktadır. Aşağıda Şekil 3’te İngiltere Crossrail

projesinin ekonomiye olan etkileri verilmiştir [14].



Şekil 2. Chicago Kentinin Yıllara Göre Arazi Dağılımı [14]



Şekil 3. Crossrail Projesinin Refah Seviyesi ve GSYİH Etkileri (milyon ABD Doları) [14]

Türkiye’de kenleşme ve gayri safi yurtiçi hasıladaki (GSYİH) büyüme ulaştırmaya olan talebi yükseltmektedir. Ayrıca muhtelif amaçlar için ulaşım ihtiyaçlarını da arttırıp çeşitlendirmektedir. Bunun yanı sıra da ulaştırmada türel çeşitliliği zorunlu hale getirmektedir. Bu bağlamda yapılan yatırımlar ise komşu kentler arası iş, okul, gezi ve turizm olanaklarını da arttırmaktadır [15].

Yüksek Hızlı Tren İşletim Esasları

- Yüksek hızlı trenlerin işletiminde en bilinen sistem konvansiyonel trenlerin kendi hatlarında, yüksek hızlı trenlerin de kendi hatlarından çalıştığı tamamen ayrışık altyapı ve işletimdir. Buna örnek olarak Japonya’nın JR Central ve JR East hatları verilebilir.
- İkinci sistemde konvansiyonel hatlarda ilgili uyarlamalar paralelinde hem konvansiyonel ve hem de yüksek hızlı trenler çalışır iken yüksek hızlı demiryolu hatlarında ise sadece yüksek hızlı trenler çalışmaktadır. Yüksek hızlı demiryolu hatlarında yalnızca yüksek hızlı trenler çalışmaktadır. Konvansiyonel hatlarda ise hem konvansiyonel trenler hem de yüksek hızlı trenler konvansiyonel tren hızlarında çalışırlar. Buna örnek olarak Fransız SNCF verilebilir.
- Üçüncü tip sistemde ise tam tersi olarak yüksek hızlı demiryolu hatlarında hem yüksek hızlı trenler ve hem de konvansiyonel trenler ilgili uyarlamalar dâhilinde çalışırken konvansiyonel hatlarda ise sadece konvansiyonel trenler çalışmaktadır. Buna örnek olarak İspanya’da RENFE işletimindeki hatlar verilebilir.
- Dördüncü tipte ise konvansiyonel ve yüksek hızlı tren altyapılarının her ikisinde de her iki tren türü de işletilebilmektedir. Buna örnek olarak Almanya’da Deutsche Bahn ve İtalya’da Trenitalia verilebilir [16].

Yüksek hızlı tren altyapısının temini hem hâlihazırdaki konvansiyonel hatların rehabilite edilerek geliştirilmesi ve hem de tamamen yeni bir hat olarak tasarlanıp yapılması ile de mümkündür. Eğer söz konusu olan konvansiyonel hattan rehabilite altyapılı bir yüksek hızlı tren işletimi ise buradaki periyodik araç vs. yenileme ve bakım işlemleri söz konusu

mevcut durum göz önüne alınarak yapılmalıdır [17].

Japonya'da Shinkansen 300 milyon yolcu/yıl'lık taşımacılığı büyükşehirler arasındaki hatlar başta olmak üzere 1850 km'yi aşan bir ağ uzunluğunda gerçekleştirmektedir. Japonya söz konusu işletim hızlarını daha da arttırmak namına bir dizi çalışma yürütmekte olup bunlardan birisi de Maglev sistemleri yolu ile 400 km/saat'lik işletim hızlarının üzerine çıkmaya yönelik olmaktadır [18]. Fransa'da TGV (yüksek hızlı tren) trenleri Paris-Lyon örneğinde olduğu üzere 260 km/saat'lerden başlayan hızları günümüz itibari ile söz konusu hatta 300 km/saat'in üzerine çıkarmıştır. Günümüzde TGV 45 milyon yolcu/yıl'lık taşımayı 6880 km'nin üzerindeki yeni ve iyileştirilmiş ağ üzerinden gerçekleştirmektedir. 1990 yılı itibari ile TGV 515,3 km/saat'lik hız rekorunu kırmış iken günümüzde ortalama 250 km/saat'in üzerindeki işletim hızları yakalanabilmektedir [19]. Soğuk savaş sonrası dönemde; yeni trenlerin ve yeni demiryolu hatlarının bir kombinasyonu meydana gelmiştir. Bu çerçevede dört çeşit YHD tanımlanabilir:

- Diğer demiryolu hatlarından bütünüyle ayrı bir sistem üzerinde çalışan hatlar (Japon Shinkansen gibi)
- Kimi yüksek hızlı trenlerin hem YHD altyapısı ve hem de geliştirilmiş konvansiyonel altyapı üzerinde çalışması durumu (Fransız TGV: pahalı bir altyapı kopyalama işi gerektirir,
- İspanya'da uygulanan bir Karma Konvansiyonel Sistem de AVE Trenleri, yeni standart gabarili (1435 mm) hatlarda yüksek hızlarda seyrederken, diğer trenler ise yeni altyapı ve daha eski İspanya Hatları üzerinde Talgo Gabari Değişim Teknolojisi vasıtasıyla standart olmayan gabarilerle (1668 mm) seyredebilmektedir.

- Almanya'da yük trenleri dâhil, konvansiyonel hatlar ve yüksek hızlı hatlar altyapısının sağladığı imkânlarla bütünüyle karma bir sistem üzerinde işletilebilmektedir[19].

Önemli bir değişim aralığı işletimin sistemsel boyutu için bulunmaktadır. Ancak en genel tanımı ile yüksek hızlı demiryolu için 200 km/saat ve üzerindeki hızlar kıstası konulabilir. Bu durumda hâlihazırda küresel ölçekte 12.000 km'den fazla bir ağ uzunluğundan söz edilebilir. Bu uzunluğun yaklaşık olarak %30'luk bölümünün işletimi konvansiyonel hatlardan rehabilite altyapılar üzerinde gerçekleştirilmektedir [20].

Sonuçlar ve Tartışma

Demiryollarında yüksek hızlı demiryolu (YHD) türünün artık ana akım haline gelmeye başladığı görülmekte olup bu türdeki temel kabul ise 200 km/saat ve üzeri işletim hızlarıdır. Yüksek hızlı demiryollarında kazanımlar seyahat sürelerinin azalması ve yüksek hızlarda işletimde öte de komşu kentler ve mücavir alan ile kültürel, sosyal ve daha birçok entegrasyonun artırılması da olmaktadır [21]. Diğer taraftan demiryollarında genel bir sorun olan gürültü yüksek hızlı demiryollarında daha da armaktadır ancak buna çözüm getirilmesi bu alandaki teknik ilerlemeler ve talebin artmasına paralel olarak da gelişecek bir süreç anlamına gelmektedir [22].

İşletim sistemindeki rekabetçilik ve verimliliğin temini için demiryollarında birlikte işletilebilirlik önemli olmaktadır. Bu bağlamda, aynı zamanda türler arası entegrasyona da katkı sağlanmakta olup bu nokta yolcu ve yük taşımacılığında kritiktir[23]. Yüksek talep ile karşılaşılan güzergâhlarda gerçekleştirilen yüksek hızlı demiryolu projeleri için hizmet düzeyi kalitesi artışının temininde özel sektör ile geliştirilecek olan ortaklıklar belirleyici bir role sahip olacaktır [24].

Demiryolları, zaman zaman yerine göre entegrasyonun ve kimi zamanda yerine göre bloklaşmanın (disentegrasyonun) aracı olmuştur.

Öyle ki, farklı siyasi bloklardaki ülkeler arasında farklılaşan hat genişlikleriyle disintegrasyonu temin ederken, aynı siyasi blok ülkeleri arası ‘ortak hat genişlikleri’ ile ekonomik-siyasi entegrasyonu temin etmiştir. Yüksek hızlı demiryolları, kullanım kolaylığı, fiyat avantajı, emniyetli ve hızlı bir hizmet ortaya koymaktadır [25]. Otomobil ile kat edilen bir yolun yüksek hızlı trenle daha kısa sürede, daha emniyetli ve daha ucuza kat edilmesi söz konusudur. Otoyol hız limitlerinin çok daha üzeri işletim hızlarına ulaşabilmek yüksek hızlı demiryolları ile mümkün olabilmektedir. Otoyola karşı yüksek hızlı demiryollarının seyahat süresi kazançları geneli itibari ile mesafe artışı ile doğru orantılıdır [26].

Teşekkür

Bu çalışmada, bugüne kadarki mesai hayatımızda desteklerini esirgemeyen, birlikte çalıştığımız mesai arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] "AB Komisyonu 2004 Yılı Türkiye İlerleme Raporu", Abgs.gov.tr., (2012).
- [2] 9.Kalkınma Planı Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu (ÖİK) Karayolu Alt Komisyonu, 2007, Ankara.
- [3] S. Kuşçu, 2011, "Avrupa Birliği Ulaştırma Politikası ve Türkiye'ye Yansımaları", Gazi Akademik Bakış, vol. 5, no 9.
- [4] Chen, C., & Hall, P. (2011). The impacts of high-speed trains on British economic geography: A study of the UK's InterCity 125/225 and its effects. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 689–704. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.010
- [5] Golobić, M., & Marot, N. (2011). Territorial impact assessment: Integrating territorial aspects in sectoral policies. *Evaluation and program planning*, 34(3), 163–173. doi:10.1016/j.evalprogplan.2011.02.009
- [6] Capacity Needs Analysis of Marmaray Train Operations Scenario Analysis for Marmaray Project, 2007. Third Report
- [7] M. Ç. Kızıldaş, 2016, Demiryolları ve Trafik Güvenliği-4, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [8] Abrahams, G. (2014). What 'is' territorial cohesion? What does it 'do'?: Essentialist versus pragmatic approaches to using concepts. *European Planning Studies*, 22(10), 2134–2155. doi:10.1080/09654313.2013.819838
- [9] M. Ç. Kızıldaş, 2016, "Avrupa Birliği ve Ulaştırma Politikaları-5", URL:

- <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [10] Brezzi, M., & Veneri, P. (2015). Assessing polycentric urban systems in the OECD: Country, regional and metropolitan perspectives. *European Planning Studies*, 23(6), 1128–1145. doi:10.1080/09654313.2014.905005
- [11] M. Ç. Kızıldaş, "Raylı Sistemlerde Küresel Ölçekteki Gelişmeler ve İstanbul-3, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [12] NIPC, 1998, "Population, household and employment forecasts for north eastern Illinois 1990 to 2020", Northeastern Illinois Planning Commission, Chicago, pp. 1–25.
- [13] E. W. Johnson, 1999, "Chicago Metropolis 2020: preparing metropolitan Chicago for the 21st century. Executive Summary", Commercial Club of Chicago.
- [14] Department for Transport. Transport, 2005, "Wider Economic Benefits and Impacts on GDP, London: Department for Transport".
- [15] Veneri, P., & Burgalassi, D. (2012). Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. *European Planning Studies*, 20(6), 1017–1037. doi:10.1080/09654313.2012.673566
- [16] M. Ç. Kızıldaş, "Raylı Sistemlerde Küresel Ölçekteki Gelişmeler ve İstanbul-1", URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [17] Reggiani, A., Nijkamp, P. (Eds.), 2009. Complexity and Spatial Networks. SpringerVerlag, Berlin.
- [18] Bode, E., 2006. Commuting, Externalities and the Geographical Sizes of Metropolitan Areas. Kiel Working Paper No. 1289, Kiel Institute for the World Economy, Kiel.
- [19] M. Ç. Kızıldaş, "Avrupa Birliği ve Ulaştırma Politikaları-2", URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- [20] Ankara – İstanbul High Speed Train Project AIHTP-PCIU-Consultants Report, Re-appraisal – Feasibility Study Report, (2011).
- [21] McArthur, D.P., 2010. Regional Labour Markets and Spatial Interaction Mechanisms. Ph.D. Thesis, NHH (Norwegian School of Economics and Business Administration), Bergen.
- [22] Van Oort, F., McCann, P., 2009. Economic growth in cities and urban networks. In: Kochendörfer-Lucius, G., Pleskovic, B. (Eds.), *Spatial Disparities and Development*. The World Bank, Washington DC, pp. 91–108.
- [23] Vasanen, A. (2012). Functional polycentricity: Examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. *Urban Studies*, 49(16), 3627–3644. doi:10.1177/0042098012447000
- [24] Rawat D. B., (2016) Adaptive Connectivity, Security and Privacy in Transportation Cyber Physical Systems. Springer.
- [25] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2016
- [26] Rawat D. B., Rodrigues J. J. and Stojmenovic I., (2015) Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice. CRC Pres

Ulaştırımda Türel Seçim ve Toplu Ulaştırma Hizmet Parametreleri Bağlamında Bir Derleme

A Review on the Context of Modal Choice on Transportation and Mass Transport Service Parameters

Mehmet Fatih Altan^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıltaş², Yunus Emre Ayözen³

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mehmetaltan@aydin.edu.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

³ Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, yunusemre.ayozen@dmi.gov.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 19 Aralık 2019

Düzelme: 13 Eylül 2020

Kabul: 15 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Türler arası entegrasyon, kent içi ulaşım, Marmaray, kent içi raylı sistemler, toplu ulaşım

ÖZET

Türler arası dengeli dağılım ve entegrasyonun sağlanmasıyla trafik güvenliğinin gereken düzeye çıkarılması mümkün olabilecektir. Bunun için, toplu taşımının bütün ulaştırma türlerinde gerekli ve yeterli alternatiflerle, üst düzey hizmet parametreleriyle sunumu önemli olacaktır. Toplu taşımının kullanıcılar tarafından tercih edilir hale getirilmesi için ihtiyaçla örtüşüyor olması (arz-talep), tüketim kültürü ile eşgüdümü bir yönetimle yürütülmesi, hizmet parametrelerinin düzeyi (hız, güvenlik, maliyet, güvenilirlik vb) ve son teknolojiyle donatılmış olması gereklidir. Tüketim kültürünün yönetimi noktasında, Hollanda'da bir işadınının bisikletle ulaşımını gerçekleştirmesinin söz konusu ülkedeki alışkanlıklarca olağan karşılanmaktadır. Ama gerek Hollanda ve gerekse de Japonya ve benzeri ülkelerin ulaştırma sistemlerinin sunduğu hizmet parametrelerinin de tercih noktasında kullanıcıları daha esnek kıldığı da söylenmelidir. Bu anlamda; planlama, entegrasyon ve farklı disiplinler arası eşgüdümün önemi de ortadadır. Bu bağlamda, ulaştırma sistemini teknolojik gelişmeler ve mevcut gereksinimler dâhilinde iyileştirirken hizmet parametreleri ile ilgili dengeli ve genel bir iyileştirmenin şartları oluşturulmak durumundadır. Yapılan kapsamlı anket sonucunda ulaşım tercihinin yaş, gelir grubu ve eğitim düzeyinden ciddi anlamda etkilendiği görülmüştür. Özellikle İstanbul gibi dinamik kentlerde klasik analizlerin dışına çıkılması gerekmektedir.

Doi: 10.24012/dumf.661453

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 December 2020

Revised: 13 September 2020

Accepted: 15 September 2020

Keywords:

High speed railways, intermodal integration, modal distribution, transportation system

ABSTRACT

Transportation has an increasing importance and attention because of the development trends on various disciplines and especially very rapidly improvement of innovative technologies. Cities are largening. Urban areas are growing as a parameter of population and immigration on developing countries, developed countries and even on undeveloped countries too in all over the World. Urbanization is a phenomena for 21st century. On futures mobility; sustainability, urbanization and digitalization will be on a very strategical point.

On this context intermodal integration and balanced modal distribution are going to become very significant and determinant for transport and related disciplines. Especially innovative technologies are going to support transportation system for solution of traffic safety problems, traffic congestion problems and related issues.

Beside all of these; as a part of sustainability and efficiency of mentioned system, enhancing the usage rates and improving of mass transport will be a focus point for the solution of the problems and providing an effective system. In this paper, at the field survey it has seen that transport choice is deeply affected by age, income and education. Epscially it is a necessity to exceeding conventional analysis for dynamic cities like Istanbul.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Fatih ALTAN
✉ mehmetaltan@ticaret.edu.tr

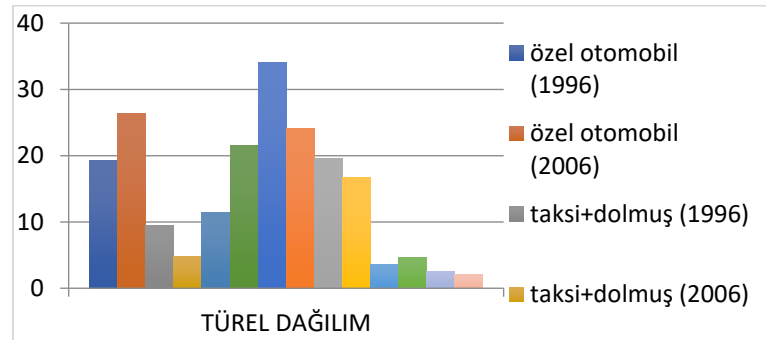
Giriş

Ulaştırma ülkelerin ekonomik gelişmişliklerinde etkileyen ve etkilenen bir konumdadır. Verimli çalışan bir ulaştırma sistemiyle sosyal ve ekonomik yönden avantajlar geliştirilebilmekte olup konut, istihdam, sanayi ve iş alanları daha erişilebilir kılınmaktadır. Günümüzde küreselleşme, teknik ve ekonomik gelişmeler ulaştırma sistemlerini yenilikçi bir anlayışla ele almayı gerekli hale getirmiştir. Teknolojide kat edilen mesafe talebi hem arttırmış hem çeşitlendirmiş ve hem de yenilemiş olup hizmet parametreleri, konfor ve kapasitede bir büyümeyi de beraberinde getirmiştir [1]. Ülkemizde son on yılda kat edilen mesafe ile karayolu ulaştırma türünün dengesiz ağırlığı özellikle kent içi raylı sistem yatırımlarıyla nispeten kırılmıştır ancak yeterli iyileşme ve özel otomobil sahipliğindeki artışın dengelenmesi için daha kapsamlı yaklaşımlar söz konusu olmalıdır. Bu kapsam; türler arası entegrasyondan şehir planlamasına, disiplinler arası koordinasyondan mevzuat iyileştirmelerine ve tüketim kültürünün yönetişimine kadar bir dizi tedbiri ihtiva etmektedir. İstanbul'da Asya'dan Avrupa'ya geçişlere bakıldığında bunun % 81'inin köprülerden gerçekleştiği ve bunun da önemli oranının özel otomobillerce oluşturulduğu görülmektedir [2].

Daha büyük fotoğrafa bakılır ise yolculuk yapanların sadece %24'ünü taşıyan özel araçlar boğaz geçişlerinde %90'ın üzerinde bir paya sahiptir. Öte yandan yolcuların %37'sinden fazlasını taşıyan lastik tekerlekli toplu ulaştırma araçları ise boğaz geçişlerinin sadece %10'unu işgal etmektedirler. Boğaz köprülerindeki trafik tıkanıklıklarının sebeplerine daha detaylı bakıldığında; özel otomobil sahipliği oranlarındaki sürekli artışın yanı sıra bu araçlardaki yolcu ortalamalarının da 1,2-1,5 düzeylerinde olması nedeniyle çok sayıda araçla kısıtlı sayıda yolcu geçişinin sağlandığı da anlaşılmaktadır [2]. Bu noktada, köprülerden insanlardan ziyade araçların geçtiği çıkarımı da yapılabilir. Bütün bunlardan hareketle toplu

taşıma odaklı yaklaşımların önemi daha da iyi anlaşılmaktadır. Aşağıda Şekil 1'de 1996-2006 yılları arasında İstanbul'un kent içi ulaşımındaki türel dağılım değişimi görülmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere, kent içi ulaşımında türel dağılımdaki farklılaşma esas olarak 1996 yılı sonrası dönemde gerçekleşmiş olup, özel otomobiller ve servis araçlarında önemli oranda bir artış gerçekleşmiştir. Bu çerçevede Kent dahilinde son 14 yılda gerçekleştirilen metro ve genel olarak raylı system hat yatırımları hummalı bir çalışmanın sonucu olarak söz konusu resmin en azından müspet yönde biraz değişmesine destek sağlamıştır [3].

İstanbul gibi kentler için toplu ulaşımda türel tercihte muhtelif birçok sayıda belirleyici unsur söz konusu olmaktadır. İstanbul'un sosyo ekonomik yapısının yanı sıra tarihi karakteri ve engebeli arazi şeklinin de bunun üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır. Kentte motorlu taşıt sahipliliği günden güne hızla artmaktadır. Diğer taraftan halen nüfusun önemli bir kısmının hiç aracı bulunmamaktadır. Diğer taraftan ise eğitilmiş ve genç nüfus hızla artar iken bu da çevreci ve sürdürülebilir kaygıların içselleşmesini desteklemektedir. Yine Türkiye'nin yerli otomobil sektöründe istenilen yerde olmaması ve petrolü dışarıdan ithal etmesi İstanbul ulaşımına da yansıyan önemli zorluklardır.



Şekil 1: 1996-2006 Dönemi İstanbul Kent içi Ulaşımında Türel Dağılım [3]

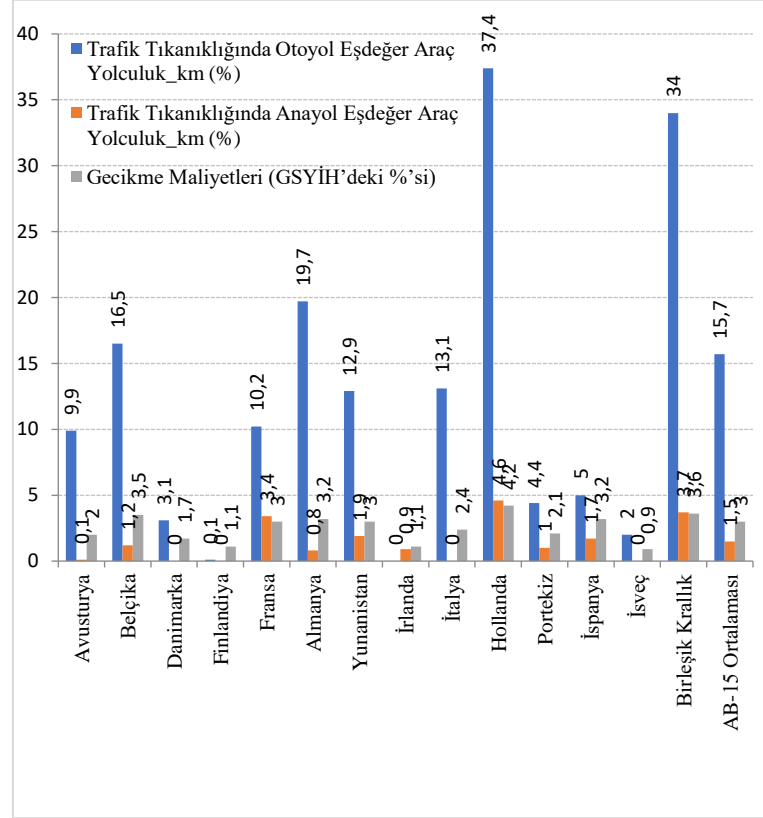
Materyal ve Yöntem

İstanbul'da ulaştırma değerlerine bakıldığında toplu ulaşımın kent için önemi daha iyi

anlaşılmakta olup toplu ulaşımın kullanımının artırılmasının aciliyeti ortaya çıkmakta ve hali hazırda sistemin toplu ulaşım kullanım oranlarının artırılmasına da elverişli olduğu görülmektedir. Bunun için de; toplu ulaşım ile bireysel ulaşım arası entegrasyon, toplu ulaşım içerisinde bilet entegrasyonu, fiziksel entegrasyon, mekânsal entegrasyon, filo entegrasyonu gibi bir dizi başlık ortaya çıkmaktadır [4]. Kentte trafik tıkanıklığının katlanılabilir düzeylere çekilmesinde ve ulaştırma sisteminin daha verimli ve etkin çalışmasında kent içi raylı sistem yatırımlarının önemli bir rolü bulunmaktadır. İstanbul'da 2004'ten günümüze önemli oranda metro ve hafif raylı sistem hattı inşası devam etmekte olup 17 Ağustos 2012 yılı itibariyle Kadıköy-Kartal Metro hattı işletime alınmış, takibinde de bu hattın devamı olarak Kartal-Pendik-Tavşantepe metro hattı da 10 Ekim 2016 itibariyle açılmış olup böylelikle İstanbul'un güney aksı boyunca, iki havaalanını birbirine bağlayan (Atatürk Havaalanı ve Sabiha Gökçen Havaalanı) kesintisiz raylı sistem ulaşımının önü açılmıştır. 2010'da İstanbul'da verilen yolculuk değerlerinde türel dağılımda karayolu ulaştırma türünün %78,4'lük ağırlığı olup 2014'te %67,7'ye, 2018'de %50,7'ye, 2023'te %26,5'a düşmesi öngörülmektedir. 29 Ekim 2013 itibariyle kısmen açılışı yapılan Marmaray'ın 2014 itibariyle türel dağılımda %7,4; 2018'de %7,9; 2023'te ise %5,7'lik paya ulaşması öngörülmektedir. İstanbul'daki trafik tıkanıklığı sorununun katlanılabilir noktaya geriletilmesinde bir diğer ana belirleyici de kent içi raylı sistem hatlarının yaygınlaştırılmasıdır [5].

Şekil 2'de ise kent içi raylı sistemlerin karayolu trafik tıkanıklığını hafifletici etkisi bağlamında otoyol trafik tıkanıklığının düzey ve maliyetleri verilmektedir. Kent içi raylı sistem hatlarından ise yaygın yatırım alanı olarak metro hatlarının yapılması gerekliliği ve bu hatların birbiriyle entegre bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da 10 Eylül 2007

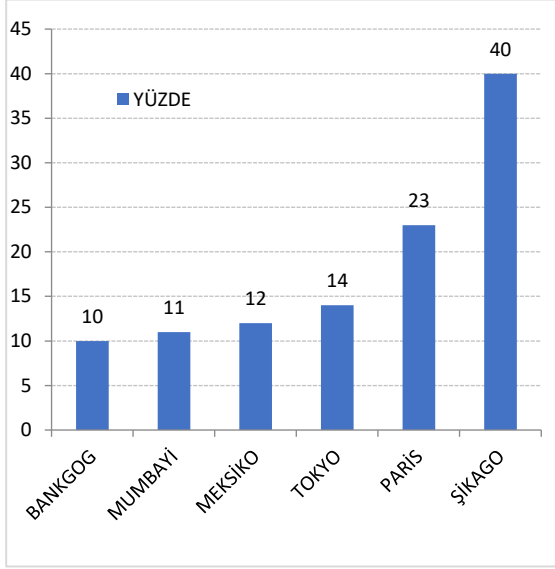
itibariyle işletime alınmış olan, ilk ve tek örnek olarak işletilen metrobüs hattı (BRT), dünyada Uzakdoğu ve Latin Amerika'da yaygınlığı olan bir sistemdir, günlük ortalama 800.000 kişilik taşıma gerçekleştirmekte ve tam kapasite olarak çalışmaktadır [6].



Şekil 2: Karayolu Trafik Tıkanıklığı Düzeyleri ve Gecikme Maliyetleri [5].

Boğaz aşan bir hat olarak metrobüs mevcutta 37'si Avrupa yakasında, 7'si Anadolu yakasında olmak üzere 44 duraktan meydana gelmekte ve şehri ana ulaşım aksında doğu-batı yönünde birbirine bağlamaktadır. Metrobüs, süre ve maliyet yönünden kayda değer kazanımlar sağlamakta olup, kapasitesinin üzerinde çalışması nedeniyle konfor ve güvenlik parametreleri yönünden yeterli olamamakta ve şehre ikinci bir metrobüs hattı, mevcut metrobüs hattının uzatılması, mevcut metrobüs hattının altyapı ve işletim koşullarının iyileştirilmesi ve mevcut metrobüs hattına paralel metro hattı gibi senaryolar değerlendirilmektedir.

Ulaştırma yatırımları hem nitelik ve hem de nicelik bakımından büyüdüğünde, nüfus açısından yoğun olan kentlerde arazi kullanım değerleri de ön plana çıkmaktadır. Şekil 3’de dünyanın muhtelif bölgelerinde nüfus yoğunluğu yüksek kentlerdeki ulaşırmaya ayrılan arazi oranları gösterilmektedir.



Şekil 3: Ükelere Göre Kent Merkezlerinde Ulaştırmaya Ayrılan Kentsel Alan Dağılımı [7].

İstanbul Kent İçi Ulaşım Anketi

Bu söz konusu anket Mehmet Çağrı Kızıltaş tarafından 2016-2017 yıllarında çevrimiçi ortamda bine yakın katılımcı ile İstanbul Toplu Ulaşımı merkezli olarak gerçekleştirilmiştir.

- Anket 16-63 yaş arası 850 kişiyle gerçekleştirilmiş olup yaş ortalaması 24’tür.
- Katılımcıların %59’u erkek %41’i bayandır.
- Ankete katılanlar; kitap satıcısı, muhasebeci, belediye çalışanı, banka personeli, memur, pdr (psikolojik danışmanlık ve rehberlik) uzmanı, fırın sahibi, proje idarecisi, diş doktoru, hukukçu, tekniker, mühendis, milli eğitim çalışanı, mühendis, diyetisyen, akademisyen, teknisyen, güvenlik personeli, uçak pilotu, gemi kaptanı, tüccar, laboratuvar personeli, sağlık çalışanı, peysaj mimarı, hizmet sektörü

çalışanı, ağır iş çalışanı, makine idarecisi, matbaacı, yazar, fotoğrafçı, gayrimenkul uzmanı, ev hanımı, mimar, turizm personeli, kimyacı, kamu çalışanı, hekim, mali müşavir, iş adamı, din görevlisi, arşiv uzmanı, kargo elemanı, operator, berber, kasiyer ve serbest meslek gibi birçok meslek kolundandır. Ayrıca ön lisans, lisansüstü ve lisans gibi muhtelif decerelere sahip çok sayıda öğrenci katılmıştır.

- Katılımcıların eğitimi düzeyi ülke ve il genelinin üzerindedir. Yaklaşık 3’te 2’si lisans ve/ya ön lisans derecesini haizdir. Yüksek lisans dereceliler katıldığında bu oran %70’in üzerini bulmaktadır.
- Katılımcılar yoğun olarak, Anadolu yakasındaki Kartal, Pendik, Üsküdar, Beykoz, Ümraniye, Çekmeköy, Maltepe, Tuzla, Sultanbeyli, Kadıköy ve Ataşehir ilçelerinde oturur iken Avrupa yakasında da Avcılar, Sarıyer, Fatih, Sultangazi, Esenler, Esenyurt, Kağıthane, Güngören, Zeytinburnu, Başakşehir, Silivri, Beylikdüzü, Beyoğlu, Gaziosmanpaşa, Eyüp, Beşiktaş, Arnavutköy, Bayrampaşa, Bakkırcöy, Küçükçekmece, Şişli ve Bağcılar ilçelerinde ikamet etmektedir.
- Yine katılımcıların yoğun bir şekilde iş ve/ya okul amaçlı olarak Pendik, Fatih, Bağcılar, Ümraniye, Arnavutköy, Üsküdar, Tuzla, Zeytinburnu, Beyoğlu, Şişli, Kağıthane, Sarıyer, Bakırcöy, Zeytinburnu, Başakşehir, Eyüp, Büyükçekmece, Sancaktepe, Küçükçekmece, Esenyurt, Ataşehir, Bayrampaşa, Bahçelievler, Beylikdüzü, Esenler, Beşiktaş, Beykoz, Kartal ve Gziosmanpaşa’ya yolculuk ettikleri görülmektedir.

Ankete iştirak edenlerin 3’te 2’si Avrupa yakasında ve yaklaşık 3’te 1’i ise Anadolu yakasında oturmaktadır. Ankete katılanların %3,6’sı her gün Avrupa’dan Anadolu’ya ve %4,2’si ise her gün tersine Anadolu’dan Avrupa’ya iş-okul amaçlı seyahat yapmaktadır. Yani atılımcıların toplamda %7,8’i hergün bir

yakadan diğerine yolculuk etmektedir. Buradan hareketle ankete katılanların çok büyük bir kısmının kendi oturduğu yakada oturduğu (veya çalıştığı) ve dolayısı ile de boğaz köprüsü trafiğine doğrudan maruz kalmadığı açıkça görülmektedir. Bu kişilerin toplam katılımcılar içerisindeki paylarına bakılır ise Anadolu yakasında ev-iş yolculuklarını yapanlar toplam ankete katılanların %29,0'unu oluşturur iken söz konusu oran Avrupa yakası dahilinde ise %63,2'yi bulmaktadır. Ankete katılanların oturdukları yakalar, İstanbul'un genel istihdam dağılımı ile örtüşmektedir. Yine bu verilenlerden anlaşılmaktadır ki İstanbul'un denizden uzaklaşan ve çok merkezli bir yapıya doğru ilerleyen bir kent olduğu yorumları isabetli görülmektedir. Ankete katılanların yaklaşık 3'te 1'i ise (%33,1) günlük ev-iş yolculuklarını güney aksta yani Marmaray'ın merkeziliğindeki güzergahta yapmaktadır. Bu hattın artık temel bileşeni Gebze-Halkalı İstanbul metrosudur [7].

Uygulama ve Başarımlar

Ankete katılanların yaklaşık 3'te 2'si toplu ulaştırmayı her gün kullanmaktadır. Ankete katılanların %8'i toplu ulaştırmayı günde 1 kereden fazla kullanır iken %53'ü ise günde 1 kez kullanmaktadır. Anket katılımcılarının İstanbul'un ortalama eğitim düzeyinin üzerinde bir eğitim düzeyini haiz olduğu daha önce de belirtilmiştir. Söz konusu toplu ulaştırma kullanım düzeyleri de İstanbul ortalamsının üstündedir. Buradan hareketle de bunun sadece bir doğru orantı olmaktan kapsamlı ve çok yönlü tahlil edilmesi gerekli bir husus olduğunu da belirtmek fayda vardır. Bu kapsamda; eğitim seviyesi yükseldikçe toplu taşıma kullanımında da doğru orantılı olacak bir şekilde her zaman artış olacağı söylenemez [8]. Ancak genel anlamda, anketten çıkan bu eğilim değerlendirilecek olursa, söz konusu artışın bir yönü eğitim seviyesine paralel olarak artan tüketici bilinçlenmesi ise diğer bir yönü ise ülkemizin sosyal bir gerçekliği olarak, uzun süreli eğitim hayatı içerisinde iken aynı zamanda

da çalışma hayatında kayda değer bir pozisyonlarda bulunan önemli miktardaki bir kitlenin varlığıdır. Söz konusu kitle özellikle İstanbul, Ankara, İzmir ve mücavir şehirlerinde ciddi bir nüfus teşkil etmektedir. Bu nüfusun yıllık gelirleri ise halen kısıtlı düzeydedir. Dolayısı ile tüketim kültürlerini aynı zamanda zorunlu olarak da disipline etmek durumundadırlar. Her 3 katılımcıdan 1'i ağırlıklı olarak, toplu taşımayı haftada birkaç kez ya da ayda birkaç kez kullanırken bu dilimin büyük bölümünün ev-iş/okul yolculuklarında özel araç kullandığı ve dolayısıyla özel araç sahip olduğu çıkarımı kabaca yapılabilir. Ancak özel araç sahibi kitlenin zaman zaman toplu taşımayı tercih etme oranının son on yıllık süreçte ne yönde ve hangi ivmeyle değiştiği hususunun da ayrıca incelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu kitle için ise son on yılda inişli çıkışlı ve değişken bir performanstan söz edilebilir. Zira söz konusu kitle geniş bir nüfus kesimini (İstanbul için, nüfusun yaklaşık yarısı) teşkil ettiğinden farklı farklı sosyal katmanlardan meydana gelmektedir. Ulaştırma ve erişilebilirlik imkânlarının arttığı bölgelerde, bilinçli tüketici olarak addedilebilecek kullanıcılar gün içi araç kullanım miktarları bağlamında toplu taşıma ve yaya ulaştırma türüne daha fazla tevccüh göstermektedir [9]. Yine; yakıt fiyatlarında artış ve trafikteki zaman kaybının maliyete olan yansımalarından ötürü de araç sahibi kitlenin bir bölümü zorunlu olarak gündelik hayatlarında toplu taşımaya daha fazla yer açmakta olup söz gelimi araçlarını ev-iş yolculuklarının haricindeki yolculuklarda kullanma yönelimi göstermektedirler. Ancak bu kısıtların nispeten dışında kalan geniş bir kitle ise hem hemen her tür yolculuklarında ve de hemen her mesafede, gündelik hayatlarında araçlarına başvurmaya devam etmektedirler.

Ankete katılanların %50'si ev-iş (okul) seyahatlerinde kent içi raylı sistemleri kullandıklarını belirtmişlerdir. Yine Marmaray'ı kullananlar ise %18,5 çıkmıştır. İETT ve ÖHO'ları (özel halk otobüsü) kullananlar

toplamda %58'in üzerindedir. Bu noktada %42'den fazlası ise BRT'yi (metrobüs) kullanmaktadır. Nerede ise katılımcıların 3'te 1'i aynı seyahatler için minibüs-dolmuşu kullandığını ifade eder iken deniz ulaşımının kullananlar ise %11'in üstünde bir oranı Aynı değerler taksilerde %10, özel araçlarda %22,8 ve servis araçlarında da %10,6 olarak gerçekleşmektedir. Buradan hareketle halkının çoğunluğunun kent içi raylı system yatırımlarının genelinden memnun olduğu ve yatırımların sürmesini beklediği, yatırımlar arttıkça kullanım kültürünün gelişeceği, Marmaray'a ilgi gösterdiği ve de eğer bu eğilim devam ederse de ulaştırma sisteminn daha da iyileşip trafik tıkanıklığının azalabileceğine inandığı sonuçlarına ulaşılabilir [10]. Tabi bu noktada Gebze-Halkalı İstanbul metrosunun işletim performansı da önemli ve belirleyici bir noktada olmaktadır. Bununla beraber ykıt fiyatlarına ve kullanım alışkanlıklarına bağlı olarak aracını özellikle boğaz köprüsü aksı trafiğinden çeken bir kitlenin olduğu ve bunda da artış gözlemlendiği anlaşılmaktadır. Buradaki tek ana neden elbette ki tüketim kültüründeki nispi bilinçlenme değildir. Söz konusu etki; genele nazaran sınırlı bir etki olarak gerçekleşmektedir. Belki tek başına ulaştırma sisteminde türel dengeni değişimi ya da toplu taşımaya yönelim konusunda ciddi bir belirleyiciliği olmamaktadır. Fakat değişen kullanıcı ölçüleri ve hassasiyetlerinin yerel idari mekanizmalar tarafından sürekli ve güncel olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesi ve hatta yönetilmesinin gerekliliği fikrini desteklemektedir. Deniz ulaştırmasına yapılan tercih İstanbul ortalamasından yüksektir ancak anketteki muhtelif sorularla birlikte değerlendirme yapıldığında bu oranların kalıcı bir seçim olmayabileceği düşünülmektedir. İETT ve özel halk otobüslerine olan tercih halen ilk sırada yer alırken, bunun kısmen zorunlu bir tercih (raylı sistem hatları yatırımlarının henüz artış aşamasında olması) olduğu kadar da – diğer anket sorularında daha açık görüleceği üzere – kısmen de gerçekleştirilen iyileştirmeler olduğu

(filo artışı, filo yenilenmesi, hat optimizasyonları, durak uygulamaları, diğer sistemlerle entegrasyondaki kısmi iyileşmeler) anlaşılmaktadır [11]. Ankete katılanlara hizmet parametrelerinden memnuniyet oranları da sorulmuştur. Verilen cevaplarda ise sıklık ve güvenilirlik %26, maliyet %23 ve hızdan memnuniyet ise %36 olarak çıkmıştır. Ayrık hatlarda (raylı sistemler) ya da özel şeritlerde (metrobüs) işletim imkanı, İstanbul'un genel trafik tıkanıklığına maruz kalmamayı beraberinde getirmektedir. Bu nedenle de söz konusu hatlarda 35 km/saat dolaylarındaki hızlar dahi ortalama İstanbul trafik akım hızlarına nazaran (15 km/saat) birçok güzergahta zamandan çok ciddi tasarrufları beraberinde getirmektedir. Bu da anket katılımcısı nezdinde 'yüksek hız' şeklinde yanılısamaalı bir algı bırakmaktadır [12]. Ankete katılanlar konfor hizmet parametresinden memnun değildir, bu oran iştirak edenerin %30'unu teşkil etmekte olup söz konusu memnuniyetsizlik oranları sıklık-güvenilirlik için %24,9 ve maliyetler (bilet fiyatı) için ise %24,4'tür. Güvelikle ilgili memnuniyetizlik düzeyi %13,8'dir. Konfor ve güvenlik birlikte telakki edildiklerinde söz konusu değer %44'lere ulaşmakta olup bu da İstanbul toplu ulaştırmasının en ivedi problemine işaret etmektedir. Söz konusu durum özellikle de metrobüslerde seyahat esnası ile muhtelif yerlerdeki metro ve metrobüs istasyonlarına erişim ile ilgili mevzu bahis olabilmektedir. Özellikle de İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) aldığı güncel bir karar olarak metrobüs ve metroda 24 saat kesintisiz ulaşım, bu bağlamda da planlanıp düşünülmelidir [13]. Tabiki konfor ve güvenlik konularını hem taksiler ve hem de dolmuş ve minibüsler için de ayrı ayrı düşünülmesinde fayda vardır. Özellikle de minibüslerin artık kooperatif şeklinde bir kamu özel ortak iştirak şirketi bünyesinde toplanıp İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) bünyesindeki bir kurumun tarafından denetlenen bir yapıyı haiz noktaya getirilmesinde de fayda ve aciliyet görünmektedir [13]. Ücret tarifesi

konusunda memnun olanların oranı yüksektir ancak bir o kadar da memnun olmayan bulunmaktadır ancak konu İBB'nin son dönemdeki öğrenci ulaşımı indirim kararıyla birlikte düşünüldüğünde ortada duran ivme halihazıra olumlu yöne evrilebilir bir potansiyelindedir. Dakiklik konusu ise metro ve kentiçi raylı sistemler genel olarak yaygınlaştıkça memnuniyet yönüne evrilecek bir orta vadeli sürece bağlı olarak görünmektedir [14]. Mevcut tablodan; 3.köprü'nün kamuoyunda – bütün taraflarca – yeterince 'politik angajmanlardan sıyrılarak' tartışılmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Her 5 katılımcıdan 2'si toplu taşımadan genel memnuniyetini 'iyi' olarak ifade etmiştir. Bu soruya 'normal' cevabını verenler %28, 'yetersiz-çok yetersiz' yaklaşık 1/3'tür [14].

Sonuçlar ve Tartışma

Kullanılan yol hacmi ve taşınan yolcuya göre yapılan değerlendirmelerde taşımacılık açısından toplu taşımının özel araca kıyasla 30 katlara varan bir performansı söz konusudur [14]. Bu anlamda, toplu taşımının sürekliliği ve tercih edilirliliği açısından işletmecinin kazanımlarını muhafaza eden ve kullanıcıya da zamandan ve maliyetten kazanç sağlayan, yeterli konfor ve güvenlik parametrelerini sağlayan bir çerçevenin temin edilmiş olması önemlidir. Bu noktada, zirve saatlerde ticari hızın İstanbul genelinde ortalama olarak nispi bir düzeyde yükseltilebilmesi önemli kazanlar sağlayacak potansiyel de olup bu anlamda toplu taşımadan başlayarak özel şerit uygulamasının devreye alınması ile birlikte mevcut yol platformunun yeterli olduğu güzergâhlarda (yeterli orta orta kaldırım genişliği vb) hızlı otobüs tarzı uygulamalara başvurulması değerlendirilebilir [15].

İstanbul'daki trafik tıkanıklığı sorunuyla ilgili, başta metro olmak üzere LRT (hafif raylı tren), HRS (ağır raylı sistem), tramvay ve benzeri kent içi raylı sistem hatlarından faydalanılması önemli noktalardandır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi,

2000'li yılların başından itibaren yaptığı kent içi raylı sistem yatırımlarıyla %200'lere yaklaşan bir artış kaydetmiştir [15]. Ancak; İstanbul için hâlihazırdaki durum da yeterli değildir. 10. Kalkınma Planı ve 11. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şurası başta olmak üzere 2014, 2019 ve 2023 yıllarını kapsayan, İstanbul için nihai olarak 776 km hattı ihtiva eden kapsamlı hedeflerin ortaya konulduğu görülmekte olup bu hedeflere ulaşılması için yerel yönetim (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) ve hükümetin (T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı) ciddi anlamda eşgüdüm, uyum ve koordinasyonu gerekmektedir [16].

Konfor, güvenlik, güvenilirlik, hız, maliyet ve benzeri hizmet parametreleri dikkate alındığında, özellikle yeni yerleşmekte olan trendler bağlamında da, yolcuların kendi önceliklerini feragat edebilecekleri ve edemeyecekleri birçok değişken söz konusu olup bu durumun hizmet parametreleri için de aynen geçerli olduğu görülmektedir [17]. Örneğin bir boğaz köprüsü veya tünele koyulan geçiş ücretine, talebe etkisi muhtemel kullanıcı kitlesinin geliştirdiği tutum ve tavır, söz konusu kitlenin hangi parametreleri daha öncelikle de açıklamaktadır. Söz gelimi yüksek maliyetli bir geçiş ücretine rağmen söz konusu ulaşırma yapısını kullanan kesimin, trafikte kaybedeceği zamanın parasal değeri, verdiği geçiş ücretinden yüksektir. Diğer taraftan yüksek geçiş ücreti nedeniyle söz konusu ulaşırma yapısını kullanmak yerine farklı bir güzergâhı ya da farklı bir ulaşırma türünü kullanan kitle için ise maliyet feragat edilemeyecek noktadaki bir hizmet parametresi iken, zamandan ve/veya konfordan belli ölçülerde feragat edilebilir. Bu bağlamda, İstanbul'da metrobüs kullanıcıları konfor ve güvenlikten feragat ederken, üst düzey bir zaman kazancı elde etmektedir. İstanbul'da boğaz köprüsü kullanıcılarının için ise zamanın parasal değer, ödedikleri köprü geçiş ücretinden daha yüksektir. İstanbul'da sürekli metro kullanıcıları, konfor ve erişilebilirlikten belli ölçülerde feragat etmeyi göze alabilirken hizmet parametrelerine

olan hassasiyetlerinin hız, güvenilirlik ve sıklıkla ilgili olduğu anlaşılmaktadır [18].

İstanbul'da türler arası entegrasyon noktasında bilet entegrasyonunun büyük ölçüde sağlandığı ancak fiziksel entegrasyonun (filo bütünlüğü) ve mekânsal entegrasyonun (aktarma merkezleri) henüz tam anlamıyla sağlanamadığı görülmekte olup türel dağılımda karayolu ulaştırma türünün ağırlığının halen tam olarak kırılmadığı da anlaşılmaktadır [19]. Bu durum; karayolu ulaştırma türünde özel otomobilin ciddi ağırlığı ile beraber okunduğunda Karayolu Trafik Güvenliği için başlı başına bir sorun teşkil etmekte ve konfor, güvenlik, seyahat süresi gibi hizmet parametrelerinin sağlanmasını da açıkça engellemektedir (T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü [20]. Buradan da anlaşılacağı üzere bu yıl açılışı yapılan 3.Boğaz Köprüsü'nün, hat rehabilitasyon çalışmaları devam eden Marmaray'ın, bu yıl içerisinde açılacak olan Avrasya Tüneli'nin ve halihazırda inşaat yada planlama safhasında olan diğer bütün projelerin bu kapsam ve kayıtlarla değerlendirilmesinde fayda vardır.

Bu anlamda; teknolojinin gelişimi, yatırımların yönlendirilmesi, şehirlerin gelişim stratejileri ve ulaştırma sistemlerinin iyileştirilerek geliştirilmesi 'insan odaklı' bir perspektifle görülmeli ve eyleme dökülmelidir.

Teşekkür

Bütün mesai arkadaşlarımıza teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Ilıcalı M., Çatbaş N., Öngel A., Kızıldaş M.Ç., (2013) 'Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation', Hong Kong,.
- [2] Kızıldaş M.Ç., (2014) 'Ulaştırma Yatırımları ve Marmaray-1', <http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-1/> (24.04.2014).
- [3] Kızıldaş M.Ç., (2014) 'Ulaştırma Yatırımları ve Marmaray-4', <http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-4/> (24.04.2014).

- [4] Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., (2018), Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM
- [5] Kızıldaş M.Ç., (2014) 'Ulaştırma Yatırımları ve Marmaray-7', <http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-7/> (24.04.2014).
- [6] Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., (2019), Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [7] Kızıldaş M.Ç., (2014) 'Yüksek Hızlı Demiryolu Politikaları-1', <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=824> (01.10.2014).
- [8] Romero, J.P., Moura, J.L., Ibeas, A., Benavente, J., (2012). Car-bicycle combined model for planning bicycle sharing systems. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- [9] Theurel, J., Theurel, A., Lepers, R., (2012). Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. Ergonomics 55, 773e781.
- [10] Kızıldaş, M, Ç, 8-10 Kasım 2018, Küresel Örnekleri ile Toplu Ulaştırma, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul
- [11] Asadi-Shekari, Z., Zaly-Shah, M., (2011). Practical evaluation method for pedestrian level of service in urban streets. In: International Transport Research Conference, Penang, Malaysia.
- [12] Granado, F.J., Coady, D. and Gillingham, R., (2012). The Unequal Benefits of Fuel Subsidies: A Review of Evidence for Developing Countries, World Development Vol. 40, No. 11.
- [13] Engel-Yan, J., Passmore, D., (2010). Assessing alternative approaches to setting parking requirements. ITE Journal 80, 25-30.
- [14] Tzeng G., Shiau T., (1988) 'Multiple Objective Programming for Bus Operation: A Case Study for Taipei City, Transportation Research Part' B 22 (3), 195-206.
- [15] Rawls J., (1971) 'A Theory of Justice', Harvard University Press, Cambridge.
- [16] İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı, (2012) İstanbul Ulaşım Ana Planı Hane Halkı Araştırması Raporu.
- [17] Rawat D. B., (2016) Adaptive Connectivity, Security and Privacy in Transportation Cyber Physical Systems. Springer.
- [18] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2016
- [19] Rawat D. B., Rodrigues J. J. and Stojmenovic I., (2015) Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice. CRC Press.
- [20] T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2015

Yeşil Binalar için Analitik Ağ Süreci (AAS) Kullanılarak Yüklenici Seçimi *Contractor Selection for Green Buildings Using the Analytic Network Process (ANP)*

Emre Caner Akçay^{1*}

¹ Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, caner.akcay@atilim.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 19 Aralık 2019
Düzeltilme: 9 Mayıs 2020
Kabul: 11 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

AAS, yüklenici seçimi, yeşil bina

ÖZET

Binalar, dünyadaki tükenen kaynakların azalmasında ve enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu çevresel etkileri en aza indirmek için yeşil binalar dünyada giderek önem kazanmaya başlamıştır. Yeşil binaların giderek önem kazandığı ve sayısının her geçen gün arttığı ülkelerden birisi de Türkiye'dir. Yeşil bina yaptırmak isteyen yatırımcıların en önemli sorunlarından biri, yeşil bina inşaatını yapacak olan yüklenici firmanın seçimidir. Bu çalışmada çok kriterli seçim yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (AAS) kullanılarak yeşil binalar için yüklenici seçim modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Buna göre, önce kavramsal bir model geliştirilmiş daha sonra AAS kullanılarak önerilen modelin pratikte nasıl uygulanabileceği Ankara'da gerçekleştirilmesi planlanan bir yeşil bina projesinde gösterilmiştir. Oluşturulan bu modelin yeşil binalar için yüklenici seçimi yapan yatırımcılara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Doi: 10.24012/dumf.661711

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 December 2019
Revised: 9 May 2020
Accepted: 11 May 2020

Keywords:

ANP, contractor selection, green building

ABSTRACT

Buildings have a significant effect on the reduction of the resources and energy consumption in the world. In order to minimize these environmental impacts, green buildings have gained importance in the world. Turkey is one of these countries, where the number of green buildings have been increased day by day. Therefore, the main question for investors is how they can select the appropriate contractor for the green building construction. The objective of this study is to develop an Analytic Network Process (ANP) based selection model that can be used to select the appropriate contractor for the green building construction. To achieve this aim, the criteria in the selection process are identified, the relationships among the criteria are determined, and the ANP based selection model is constructed.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Emre Caner AKÇAY
✉ caner.akcay@atilim.edu.tr

Giriş

Binalar, dünyadaki enerji tüketiminin artmasında ve tükenen kaynakların azalmasında çok önemli bir paya sahiptir [1]. Yapılan araştırmalar, binaların dünya genelindeki enerji tüketiminin %40'ına sebep olduğunu göstermektedir [2]. Binalar, enerji tüketimine ek olarak CO₂ emisyonu, su kullanımı ve katı atıkların kullanımını da önemli ölçüde arttırmaktadır [3]. Bu çevresel etkileri en aza indirmek ve çevreyi korumak için yeşil binalar dünyada giderek önem kazanmaya başlamıştır. Yeşil binaların giderek önem kazandığı ülkelerden birisi de Türkiye'dir. 2019 Nisan ayı itibariyle Türkiye'deki sertifikalı yeşil bina sayısı 400'e çıkarak, dünyada bu alanda 6. sırada bulunmaktadır [4]. Türkiye'deki yeşil bina sayısının önümüzdeki yıllarda önemli oranda artacağı öngörülmektedir. Özellikle yeşil bina yaptırmak isteyen yatırımcıların en önemli sorunlarından biri de, yeşil binayı inşa edecek yüklenici firmanın seçimidir. Çoğu zaman sadece en düşük fiyat kriteri ile yüklenicinin seçilmesi projelerin başarısız olmasına sebebiyet vermektedir [5]. Tek bir kriter yerine, yüklenici seçiminde önemli olan tüm kriterlerin belirlenmesi, daha sonra ise bu kriterlerin tamamının göz önünde bulundurularak yüklenici seçiminin yapılması çok daha güvenilir sonuçlar verebilecektir. Bu çalışmada, çok kriterli seçim yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (AAS) kullanılarak yeşil binalar için yüklenici seçim modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Buna göre, önce kavramsal bir model geliştirilmiş daha sonra AAS kullanılarak önerilen modelin pratikte nasıl uygulanabileceği Ankara'da gerçekleştirilmesi planlanan bir yeşil bina projesinde gösterilmiştir. Makalede öncelikle AAS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş benzer çalışmalar irdelenecek, daha sonra da yeşil binalar için yüklenici seçiminde kullanımı gerçek bir proje üzerinden anlatılacaktır.

Analitik Ağ Süreci (AAS) ile ilgili literatür bulguları

Çok kriterli seçim yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında Saaty [6] tarafından önerilen analitik hiyerarşi süreci (AHS) gelmektedir. Bu süreçteki temel prensip;

seçim kriterlerinin belli bir hiyerarşik düzene göre sıralanması, daha sonrasında ise her bir kriterin bir üst hiyerarşideki kontrol kriterine göre önem derecesinin belirlenmesidir. Analitik Hiyerarşi Süreci her ne kadar geniş bir kullanım alanına sahip olsa da; seçim kriterleri arasındaki etkileşimi ve bağımlılıkları göstermemesi bu yöntemin en büyük dezavantajı olarak görülmekte ve kullanım alanını kısıtlamaktadır. Analitik hiyerarşi sürecinin genelleştirilmiş şekli olan ve Saaty [7] tarafından sunulan Analitik Ağ Süreci (AAS), AHS yönteminin aksine karar vericilere seçim kriterleri arasındaki etkileşimi ve bağımlılıkları gösterme imkanı sağlamaktadır.

Yapım ve proje yönetimi alanında Analitik Ağ Süreci kullanılarak yapılan pek çok sayıda çalışma mevcuttur. Literatürdeki bu çalışmalar seçim problemleri, performans değerlendirmeleri ve risk değerlendirmeleri olmak üzere 3 ana başlık altında toplanabilmektedir. İnşaat sektöründe farklı seçim problemlerine AAS kullanılarak güvenilir çözümler elde edilmiştir. Bu kapsamda Hasnain vd. [8] yol inşaat projeleri için yüklenici seçimini sağlayan AAS temelli bir karar destek sistemi kurmuştur. El-Abbasy vd. [5] AAS yöntemi kullanarak yol inşaatı projeleri için ana yüklenici seçimi yapan bir model oluşturmuştur. Cheng ve Li [9] AAS yönteminden faydalanarak yüklenici firma seçimi için bir model önermiştir. Ozcan-Deniz ve Zhu [10] çevre dostu karayolu inşaat yöntemi seçimini AAS yöntemi kullanarak yapmıştır; Reisi vd. [11] AHS ve AAS kullanılarak endüstriyel inşaat sahası seçimi için bir yöntem ortaya koymuştur. Literatür bulguları, yeşil bina ve/veya inşaat ile ilgili herhangi bir çalışmanın henüz yapılmamış olduğunu ve bu alanda bir eksiklik olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki AAS kullanılarak performans değerlendirmesini gerçekleştiren çalışmalara temelde farklı şirket/sistem/yöntem ilişkili performansın tahmin edilmesini içermektedir. Ozorhon vd. [12] AAS yöntemini kullanarak uluslararası inşaat ortak girişimlerin performanslarını tahmin eden bir model geliştirmiştir; Shahpari vd. [13] prefabrik ve yerinde inşaat sistemlerinin verimliliğini AAS yöntemi kullanarak değerlendirmiştir; Li vd. [14] AAS temelli kapsamlı bir değerlendirme modeli oluşturarak yalın inşaat yönetim performanslarını değerlendirmiştir; Erdem ve Ozorhon [15] gayrimenkul projelerin başarılarını

değerlendirmek için AAS yönteminden faydalanmıştır.

Literatürde AAS kullanılarak risk değerlendirmesi yapılan çalışmalar da mevcuttur. Yang vd. [16] AAS yöntemi kullanarak metro istasyon inşaatlarının güvenlik risklerini değerlendirmiştir; Do vd. [17] Vietnam'daki uluslararası inşaat ortak girişimlerinin risk değerlendirmesini gerçekleştirmek için AAS yönteminden faydalanmıştır; Kiani Mavi ve Standing [18] bulanık AAS yaklaşımı kullanarak sürdürülebilir proje yönetimindeki kritik başarı faktörlerini belirlemiştir; Bu-Qammaz vd. [19] uluslararası inşaat projelerinin risk değerlendirmesini AAS kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Literatürdeki çalışmalarda da görüldüğü üzere AAS yöntemi inşaat sektöründe çok farklı problemlere çözüm getirmek için kullanılmıştır; fakat yeşil bina projeleri için yapılacak olan yüklenici firma seçimleriyle ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Buradan hareketle; yapılan bu çalışmada, öncelikle yeşil binaların inşaatı için yüklenici seçim kriterleri belirlenecek, daha sonra ise analitik ağ süreci kullanılarak bir seçim modeli oluşturulacaktır.

Yeşil Binalar için Yüklenici Seçim Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada, AAS yöntemi kullanılarak yeşil binaların inşaatı için yüklenici seçimine olanak sağlayan model 4 temel aşamada oluşturulacaktır. İlk aşamada yüklenici seçimini belirleyen kriterler belirlenerek modelin ağ yapısı oluşturulacak, ikinci aşamada oluşturulan model için karşılaştırma matrisleri oluşturulup doldurulacak, üçüncü aşamada modelin süpermatrisleri oluşturularak yüklenici seçimini belirleyen her bir kriterin önem derecesi belirlenecek, son aşamada ise her bir kriterin önem derecesi kullanılarak yüklenici seçimi yapılacaktır.

Modelin Ağ Yapısının Kurulması

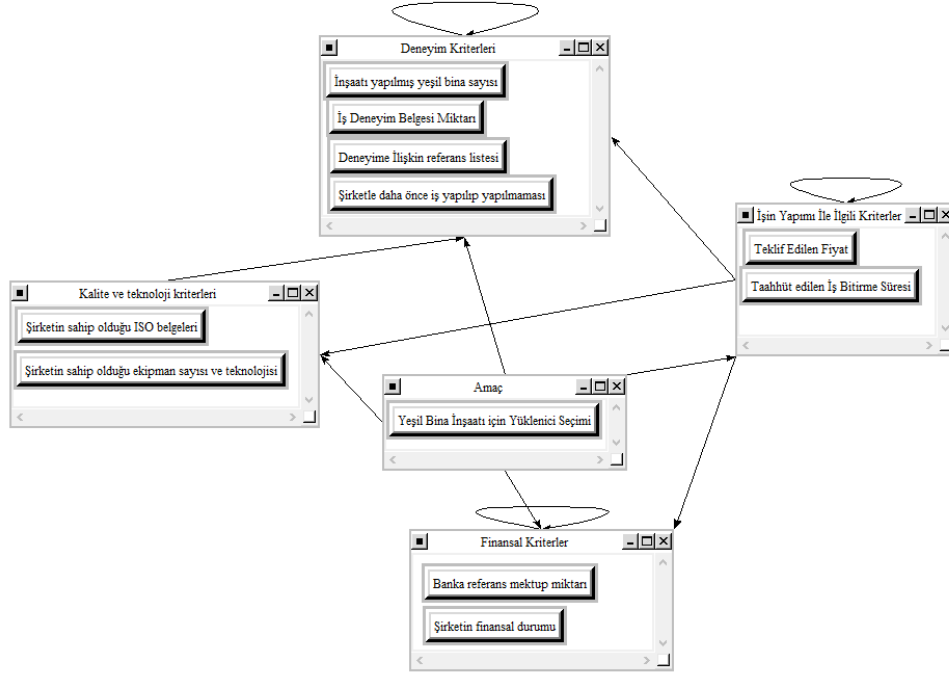
Yeşil Binalar için yüklenici seçimini sağlayan bir modelin oluşturulması için öncelikle bu seçimi etkileyen kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, kriterlerin belirlenmesi için daha önce yeşil bina inşaatı yaptırmış 10 yatırımcı firma yetkilileri ile yarı-yapılandırılmış mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Mülakatlarda,

katılımcılara geçmişteki tecrübelerinden faydalanarak yeşil bina inşaatı için yüklenici seçiminde önemli gördükleri kriterleri bir liste halinde hazırlamaları istenmiştir. Anket sonucunda katılımcılar tarafından belirlenen bütün kriterler, öncelikle birleştirilerek tek bir kriter listesi haline getirilmiş (Tablo 1), daha sonra ise ilgi alanlarına göre finansal kriterler, kalite ve teknoloji kriterleri, işin yapımı ile ilgili kriterler ve deneyim kriterleri olmak üzere 4 ana başlık altında gruplandırılmıştır. Bu kriterlerden “Şirketin Finansal Durumu” ile ilgili şunu belirtmek gerekir ki; bu kriter “Ciroyu gösteren gelir tablosu” ve “Bilanço verilerinden oluşan cari oranı” olarak iki ayrı kriterin birleşimi olarak tek bir kriter olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Yeşil Binalar için yüklenici seçim kriterleri

Seçim Kriterleri
Deneyime İlişkin referans listesi
İnşaatı yapılmış yeşil bina sayısı
İş deneyim belgesi toplam tutarı
Şirketle daha önce iş yapılıp yapılmaması
Banka referans mektup toplam tutarı
Şirketin finansal durumu
Taahhüt edilen iş bitirme süresi
Teklif edilen fiyat
Şirketin sahip olduğu ekipman sayısı ve teknolojisi
Şirketin sahip olduğu ISO belgeleri

AAS yönteminin uygulanabilmesi için belirlenen kriterlerin ağ yapısının oluşturulması gerekmektedir. Bu ağ yapısının hazırlanabilmesi için, öncelikle her bir kriterin birbirleri ile etkileşiminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, daha önce mülakatlara katılmış olan 10 yatırımcı firma temsilcisinin katılımı ile bir beyin fırtınası oturumu gerçekleştirilmiştir. Bu oturumda öncelikle katılımcıların Tablo 1 ile ilgili görüşleri alınmış, tüm katılımcıların hemfikir olduğu kriterlerin aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla 10x10'luk bir matris dağıtılarak katılımcılardan doldurmaları



Şekil 1. Modelin Ağ Yapısı

istenmiştir. Beyin fırtınası sonucunda çıkan ve her bir kriterin birbirleri ile etkileşimini gösteren modelin ağ yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir.

Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Saaty [20] tarafından belirtildiği üzere ikili karşılaştırmalar iki elemandan birinin sistemdeki üçüncü bir elemana (kontrol kriterine) göre göreceli etkisini bulmak için gerçekleştirilir. Bu etkiyi derecelendirmek için AHS’de olduğu AAS’de de Saaty [21] tarafından önerilen 1-9 skalası kullanılmakta ve bu skaladaki her bir değerın önem derecesi Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Temel Ölçek [21]

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	İki kriter de eşit öneme sahip
2	Az önemli	
3	Orta önemli	Bir kriter diğer kriterlere göre biraz daha önemli
4	Ortadan biraz fazla önemli	

5	Kuvvetli önemli	Bir kriter diğer kriterlere göre kuvvetli derece daha önemli
6	Kuvvetliden biraz fazla önemli	
7	Çok kuvvetli önemli	Bir kriter diğer kriterlere göre çok kuvvetli derece daha önemli
8	Çok çok kuvvetli önemli	
9	Aşırı önemli	Bir kriter diğer kriterlere göre aşırı şiddetli daha önemli

Matrisleri oluştururken dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta ise matrislerin tutarlık oranıdır. Bu oran matrisin içerisindeki değerlerin tutarlı olup olmadığını göstermektedir. Saaty [22] tarafından belirtildiği üzere her bir matrisin tutarlık oranı 0.1’den küçük olmalıdır. Yapılan bu çalışmada, oluşturulan modelin ağ yapısı kullanılarak toplamda 32 tane karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu matrislerin doldurulması için ise, ilk beyin fırtınası oturumu yapılan katılımcılarla bir başka beyin fırtınası oturumu düzenlenmiştir. Düzenlenen bu oturumda bütün karşılaştırma matrisleri her biri katılımcıya dağıtılmış, daha sonra ise her bir

matris için ayrı tartışmalar yapılarak bütün matrisler düzenlenen beyin fırtınası oturumu sonucunda doldurulmuştur. Doldurulma işlemi yapılırken matrislerin tutarlık oranları da kontrol edilmiş ve hepsinin 0.1'den küçük olduğu görülmüştür.

Süpermatrislerin Oluşturulması

Oluşturulan model için karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra, üçüncü aşamada süpermatrislerin oluşturulması ve bu matrislerden faydalanarak her bir kriterin önem derecesinin belirlenmesi gerekmektedir. Saaty [23] tarafından belirtildiği üzere AAS yönteminde üç aşamalı süpermatris hesaplaması mevcuttur. Bunlar sırasıyla; ağırlıklandırılmamış süpermatris, ağırlıklandırılmış süpermatris ve limit süpermatristir. İlk aşamada, birbirlerini etkileyen elementlerin karşılaştırılmalarının sonucunda elde edilen yerel önceliklerden

faydalanılarak ağırlıklandırılmamış süpermatris meydana getirilmektedir. İkinci aşamada, ağırlıklandırılmamış süpermatris değerleri ait oldukları grup ağırlıklarıyla çarpılması sonucu ağırlıklandırılmış süpermatris oluşturulmaktadır. Son aşamada ise, ağırlıklandırılmış süpermatrisin bütün kolonları sabit bir değere gelene kadar kuvvetlerinin alınması sonucu limit süpermatris elde edilmektedir. Bu süpermatrislerin oluşturulma işlemi Saaty [23] tarafından geliştirilen SUPER DECISIONS adlı bir yazılım yardımıyla elde edilmektedir. Oluşturulan bu üç süpermatristen en önemli olanı limit süpermatrisidir. Bu matris, her bir seçim kriterinin ağırlığını vererek bir nevi seçim kriterlerinin önem değerlerini göstermektedir. Yapılan bu çalışmada, oluşturulan modele ait SUPER DECISIONS adlı yazılım kullanılarak elde edilen limit matrisin ekran görüntüsü Şekil 2'de gösterilmektedir.

Super Decisions Main Window: Yeşil Binalar için Yuklenici Secimi.sdmod: Limit Matrix

	Yeşil B~	Deneyim~	İnşaat~	İş Dene~	Şirketi~	Banka r~	Şirketi~	Taahhut~	Teklif ~	Şirketi~	Şirketi~
Yeşil B~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Deneyim~	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338	0.01338
İnşaat~	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141	0.05141
İş Dene~	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713	0.06713
Şirketi~	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129	0.03129
Banka r~	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294	0.20294
Şirketi~	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369	0.13369
Taahhut~	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443	0.09443
Teklif ~	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836	0.33836
Şirketi~	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053	0.05053
Şirketi~	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684	0.01684

Şekil 2. Modelin Limit Matrisi

Limit süpermatristen elde edilen her bir kriterin önem derecesi ise Tablo 3'te gösterilmektedir. Bu tabloya göre yüklenici seçiminde en önemli kriter, beklenildiği üzere teklif edilen fiyattır. İkinci önemli kriter ise şirketin sahip olduğu banka referans mektup toplam tutarı olarak belirlenmiştir. Önem derecesi en düşük olan kriter ise şirketin sahip olduğu ISO belgeleridir. Çıkan bu sonuçlar ve her bir kriterin önem derecesi beyin fırtınası oturumuna katılan katılımcılara gösterilmiş ve değerlerin mantıklı olup olmadığı sorulmuştur. Katılımcılar, değerlerin mantıklı olduğu görüşünde birleşmiş

ve çalışmanın bir sonraki aşamasında kullanılmasını uygun bulmuştur.

Tablo 3. Kriterlerin önem dereceleri

Seçim Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Deneyime İlişkin referans listesi	0.013
İnşaatı yapılmış yeşil bina sayısı	0.051
İş deneyim belgesi toplam tutarı	0.067

<i>Şirketle daha önce iş yapıp yapılmaması</i>	0.031
<i>Banka referans mektup toplam tutarı</i>	0.203
<i>Şirketin finansal durumu</i>	0.134
<i>Taahhüt edilen iş bitirme süresi</i>	0.094
<i>Teklif edilen fiyat</i>	0.338
<i>Şirketin sahip olduğu ekipman sayısı ve teknolojisi</i>	0.051
<i>Şirketin sahip olduğu ISO belgeleri</i>	0.017

- Deneyime ilişkin referans listesi kriteri doldurulurken yüklenici firmanın daha önce kaç farklı firmaya iş yaptığı yazılacaktır.
- İnşaatı yapılmış yeşil bina sayısı kriteri doldurulurken, yüklenici firma tarafından daha önce yapılmış olan toplam yeşil bina sayısı yazılacaktır.
- Şirketin finansal durumu kriteri, şirketin cirosu ile cari oranına bakılarak bir finans uzmanı tarafından çok kötü, kötü, orta, iyi ya da çok iyi olarak derecelendirilecektir.
- Şirketin sahip olduğu ekipman sayısı ve teknolojisi kriteri doldurulurken şirketin sahip olduğu ekipmanların toplam parasal değeri yazılacaktır.
- Daha sonra, parasal veya adet olarak yapılan tüm değerlendirmeler 1-5 ölçeğine taşınarak birbiri ile tutarlı hale getirilecektir.

Yüklenici Seçiminin Yapılması

Yeşil Bina için yüklenici seçimi yapılan modelin son aşaması her bir yüklenici adayının teklif puanının belirlenerek en yüksek puana sahip yüklenici adayının yüklenici olarak seçilmesini kapsamaktadır. Teklif puanı hesaplama işlemi için; öncelikle her bir yüklenici adayından bütün yüklenici seçim kriterleri ile ilgili bilgi istenilecek, daha sonra ise her bir kriter 1-5 skalasında puanlandırılacak ve bu puanlar AAS sonucu elde edilen her bir seçim kriterinin önem derecesi ile çarpılarak, çıkan bütün sonuçlar toplanacaktır. Örnek bir teklif puanı hesaplama işlemi Denklem 1’de gösterilmektedir:

$$\text{Teklif Puanı}_{\text{Firma A}} = (p_{1A} \times d_1) + (p_{2A} \times d_2) + \dots + (p_{10A} \times d_{10}) \quad (1)$$

p_{1A} = A firması için birinci seçim kriterinin puanı

d_1 = Birinci seçim kriterinin önem derecesi

p_{2A} = A firması için ikinci seçim kriterinin puanı

d_2 = İkinci seçim kriterinin önem derecesi

p_{10A} = A firması için onuncu seçim kriterinin puanı

d_{10} = Onuncu seçim kriterinin önem derecesi

Puanlar belirlenirken yardımcı olması için aşağıdaki yönlendirmeler oluşturulmuştur :

Modelin Test Edilmesi

Geliştirilen bu yüklenici seçim modeli, Ankara’da yapılması planlanan bir yeşil bina projesi için test edilmiştir. Projeyi yapmaya 3 farklı yüklenici firma talip olmuştur. Her bir firmaya ait seçim kriter bilgileri alınmış, Tablo 4’te görüldüğü üzere ilk kolona her bir kriterin gerçek değerleri yazılmış, ikinci kolonlara ise şirket tarafından verilen gerçek değerlere göre 1-5 skalasında puan verilmiştir. Kriterler puanlandırılırken; 3 firmadan o kriterle ilgili en avantajlı teklif verene 5 puan verilmiş, diğer firmaların o kriterle ilgili teklifleri ona göre puanlandırılmıştır. Örneğin; “Banka Referans Mektup Toplam Tutarı” kriterini puanlandırırken; A Firmasının Banka Referans Mektup Toplam Tutarına (30.000.000 TL) 5 puan verilmiş, B Firmasının Banka Referans Mektup Toplam Tutarına (25.000.000 TL) 4 puan verilmiş, C Firmasının Banka Referans Mektup Toplam Tutarına (15.000.000 TL) 3 puan verilmiştir. Bu kriterlerden “Şirketle daha önce iş yapıp yapılmaması” kriteri puanlandırılırken; şirketle daha önce iş yapılmışsa 5 puan, yapılmamışsa 1 puan verilmiştir. Her bir seçim kriteri puanlandırıldıktan sonra ortaya çıkan teklif puanları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Örnek proje için teklif puanları

Seçim Kriterleri	Kriter Ağırlıkları	Firma A		Firma B		Firma C	
		Gerçek Değerler	Puan	Gerçek Değerler	Puan	Gerçek Değerler	Puan
Deneyime İlişkin referans listesi	0.013	5 Firma	4	2 Firma	2	6 Firma	5
İnşaatı yapılmış yeşil bina sayısı	0.051	2 Bina	5	0	1	1 Bina	3
Toplam iş deneyim belgesi toplam tutarı	0.067	15.000.000 TL	5	5.000.000 TL	2	16.000.000 TL	5
Şirketle daha önce iş yapıp yapılmaması	0.031	Yapılmadı	1	Yapılmadı	1	Yapılmadı	1
Banka referans mektup toplam tutarı	0.203	30.000.000 TL	5	25.000.000 TL	4	15.000.000 TL	3
Şirketin finansal durumu	0.134	Çok iyi	5	Orta	3	İyi	4
Taahhüt edilen İş Bitirme Süresi	0.094	150 gün	4	180 gün	2	140 gün	5
Teklif edilen Fiyat	0.338	10.000.000 TL	4	9.000.000 TL	5	11.000.000 TL	3
Şirketin sahip olduğu ekipman sayısı ve teknolojisi	0.051	20.000.000 TL	5	2.000.000 TL	1	5.000.000 TL	3
Şirketin sahip olduğu ISO belgeleri	0.017	ISO 9001, ISO 14001	5	Yok	1	ISO 9001, ISO 14001	5
		Teklif Puanı	4.43	Teklif Puanı	3.40	Teklif Puanı	3.45

Sonuçlar

Buna göre, A Firması 4.43 puanla, 3 yüklenici aday firma arasından 1. firma olmuştur, dolayısıyla oluşturulan bu modele göre en yüksek puana sahip olan A firmasının yüklenici firma olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu örnek proje için sadece teklif edilen fiyata bakılarak yüklenici seçimi yapılırsa B firmasının seçilmesi gerekiyordu, ancak tek bir kriter yerine birden çok kriter kullanılarak ve AAS yardımıyla modellenerek daha kapsamlı bir seçim yapılması sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada, AAS yöntemi kullanılarak yeşil binalar için yüklenici seçimine olanak sağlayan bir model hazırlanmıştır. Bu modelin hazırlanması için sırasıyla yüklenici seçimine etki eden kriterler belirlenmiş, kriterler arasındaki etkileşimler saptanmış, modelin ağ yapısı oluşturulmuş, SUPER DECISIONS adlı yazılım kullanılarak süpermatrisler oluşturulmuş, bu süpermatrisler kullanılarak her bir kriterin önem derecesi bulunmuş, bu önem dereceleri kullanılarak yüklenici adayları her bir firmanın teklif puanı bulunmuştur. Yeşil binalar için yüklenici seçiminde en önemli iki seçim kriteri “Teklif edilen fiyat” ve “Banka referans mektup

toplam tutarı” çıkmıştır. Bunun yanında; yeşil binaların yüklenici seçimi için iki spesifik kriterin (“İnşaatı yapılmış yeşil bina sayısı” ve “Şirketin sahip olduğu ekipman sayısı ve teknolojisi”) AAS kullanılarak oluşturulan modelde yüklenici seçimine toplamda yaklaşık olarak %10 etki ettiği görülmektedir. Her ne kadar “Teklif edilen fiyat” kriteri yapılan bu çalışmada en önemli kriter olarak belirlense de, AAS kullanılarak oluşturulan model sayesinde tek bir seçim kriterinden ziyade diğer kriterlerin de yüklenici seçimine etki ettiği görülmüştür. Oluşturulan bu model, Ankara’da yapılması düşünülen bir ofis binası için test edilmiş ve modelin başarıyla çalıştığı görülmüştür. Hazırlanan bu modelin yeşil bina inşaatı yapmayı düşünen yatırımcılara yüklenici firma seçimi aşamasında kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak çalışma bulguları değerlendirilirken göz önünde bulundurulması gereken bazı noktalar da bulunmaktadır. Hazırlanan bu modelin seçim kriterleri ve her bir kriterin puanı belirlenirken öznel yargılar kullanılmıştır, ileriki çalışmalarda katılımcı sayısı artırılarak ve Delphi benzeri yöntemler kullanılarak bu özelliğin azaltılması mümkün olabilir.

Kaynaklar

- [1] Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C., (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40:394-398.
- [2] Yas, Z., Jaafer, K., (2020). Factors influencing the spread of green building projects in the UAE, *Journal of Building Engineering*, 27(100894).
- [3] Cao, X., Xilei, D., Liu, J., (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings*, 128:198-213.
- [4] Toki Haber. (2019). Türkiye yeşil bina sayısında Avrupa lideri – TOKİ Haber. [internet] Site adresi: <https://www.tokihaber.com.tr/haberler/turkiye-yesil-bina-sayisinda-avrupa-lideri/> [Son erişim tarihi 18 Aralık 2019].
- [5] El-Abbasy, M. S., Zayed, T., Ahmed, M., Alzraiee, H., Abouhamad, M., (2013). Contractor selection model for highway projects using integrated simulation and analytic network process, *J. Constr. Eng. Manage.*, 139 (7): 755–767.
- [6] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- [7] Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, RWS Publications, Pittsburgh.
- [8] Hasnain, M., Thaheem, M. J., Ullah, F., (2018). Best Value Contractor Selection in Road Construction Projects: ANP-Based Decision Support System, *Int. J. Civ. Eng.*, 16:695–714.
- [9] Cheng, E., Li, H., (2004). Contractor selection using the analytic network process, *Constr. Manage. Econ.*, 22(10):1021–1032.
- [10] Ozcan-Deniz, G., Zhu, Y., (2015). A Multi-Objective Decision-Support Model for Selecting Environmentally Conscious Highway Construction Methods, *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(6):733-747.
- [11] Reisi, M., Afzali, A., Aye, L., (2018). Applications of analytical hierarchy process (AHP) and analytical network process (ANP) for industrial site selections in Isfahan, Iran, *Environmental Earth Sciences*, 77(14).
- [12] Ozorhon, B., Dikmen, I., Birgonul, M. T., (2007). Using analytic network process to predict the performance of international construction joint ventures, *Journal of Management in Engineering*, 23(3):156-163.
- [13] Shahpari, M., Saradj, F. M., Pishvae, M. S., Piri, S., (2020). Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method, *Journal of Building Engineering*, 27(100979).
- [14] Li, X.K., Wang, X. M., Lei, L., (2019). The application of an ANP-Fuzzy comprehensive evaluation model to assess lean construction management performance, *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- [15] Erdem, D., Ozorhon, B., (2015). Assessing Real Estate Project Success Using an Analytic Network Process, *Journal of Management in Engineering*, 31(4):04014065.
- [16] Yang, T., Song, P., Liu, J., Wang, M., (2019). The assessment of metro station construction safety risk based on ANP-grey clustering method, *Conference Proceedings of the 7th International Symposium on Project Management*, ISPM 2019, pp. 153-158
- [17] Do, S. T., Likhitrungsilp, V., Kiet, T. T., Nguyen, P. T., (2017). Risk assessment for international construction joint ventures in Vietnam, *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4(6):104-114.
- [18] Kiani Mavi, R., Standing, C., (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach, *Journal of Cleaner Production*, 194:751-765.
- [19] Bu-Qammaz, A. S., Dikmen, I., Birgonul, M. T., (2009). Risk assessment of international construction projects using the analytic network process, *Can. J. Civ. Eng.*, 36(7), 1170-1181.
- [20] Saaty, T.L. (2005). *Theory and applications of the Analytic Network Process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*, RWS Publications, Pittsburgh, Penn., USA.
- [21] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1):83–98.
- [22] Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytical network process-dependence and feedback in decision-making with a single network, *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(2): 129-157.
- [23] Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, RWS Publications, Pittsburgh.

Aşağı Seyhan Ovası (Mersin-Adana) Yeraltı ve Yüzeysel Sularının Çeşitli Grafik Yöntemlerle Sınıflandırılması

Classification of Ground and Surface Waters of Lower Seyhan Plain (Mersin-Adana) by Various Graphical Methods

Can AKBULUT CAMUZCUOĞLU^{1*}, Cüneyt GÜLER²

¹Mersin Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Mersin, canakbulut@mersin.edu.tr

²Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin, cguler@mersin.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 30 Aralık 2019
Düzeltilme: 20 Nisan 2020
Kabul: 4 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Yeraltı suyu, yüzeysel suyu, hidrojeokimya, su kalitesi, Aşağı Seyhan Ovası

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyısında bulunan Çukurova Deltası'nın yaklaşık olarak 2125 km²'lik bir kesimini kapsayan Aşağı Seyhan Ovası'nda (ASO) yapılmıştır. Sanayi ve evsel kaynaklı atıksuların herhangi bir arıtım işlemine tabi tutulmadan su kaynaklarına boşaltılması ve yoğun tarımsal faaliyetler bu bölgede içme-kullanma suyu olarak kullanılan yeraltı ve yüzeysel sularının kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, ASO'nda bulunan yeraltı ve yüzeysel sularının kalitelerinin ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Haziran-Temmuz 2014 döneminde bölgedeki kuyulardan ve çeşitli yüzeysel sularından (Akdeniz, Seyhan ve Berdan nehirleri, sulama ve drenaj kanalları, Tuzla ve Akyatan lagünleri) toplam 173 adet su örneği alınmıştır. Alınan su örnekleri üzerinde, yerinde (arazide) yapılan çeşitli fiziksel parametrelere (pH, Eh ve elektriksel iletkenlik) ait ölçümlerin yanı sıra, laboratuvarında çeşitli majör iyonlara (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻ ve F⁻) ait konsantrasyon değerleri spektrometrik, spektrofotometrik ve titrimetrik analiz yöntemleriyle belirlenmiştir. Bu ölçüm ve analiz sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak Piper, Durov, Yarı Logaritmik Schoeller, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları oluşturularak değerlendirilmeler yapılmıştır. Bölgede mevcut değişik türlerdeki suların farklı karakterlere sahip olduğu ve fizikokimyasal değerlerin geniş bir aralıkta değiştiği sonucuna varılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.666078

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 December 2019
Revised: 20 April 2020
Accepted: 4 May 2020

Keywords:

Groundwater, surface water, hydrogeochemistry, water quality, Lower Seyhan Plain

ABSTRACT

This study was carried out in the Lower Seyhan Plain (LSP), which covers an area of approximately 2125 km² in the Çukurova Delta, located in the Eastern Mediterranean coast of Turkey. Discharge of wastewaters from industrial and domestic sources to water resources without any treatment process and intense agricultural activities adversely affect the quality of groundwater and surface waters, which are used as drinking/potable water sources in the region. Within the scope of this study, a total of 173 water samples were collected from wells and various surface waters (Mediterranean Sea, Seyhan and Berdan rivers, irrigation and drainage canals, Tuzla and Akyatan lagoons) in the region between June and July 2014 in order to determine the quality and hydrogeochemical properties of groundwater and surface waters in the LSP. In addition to the measurements of various physical parameters (pH, Eh and electrical conductivity) made on site, concentration values of various major ions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻ and F⁻) were determined in the laboratory by spectrometric, spectrophotometric and titrimetric analysis methods. The results obtained from measurements and analyses were used to create and interpret Piper, Durov, Semi-Logarithmic Schoeller, USA Salinity Laboratory and Wilcox diagrams. It is concluded that different types of waters present in the region are diverse in character and physicochemical values vary within a wide range.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Can AKBULUT CAMUZCUOĞLU
✉ canakbulut@mersin.edu.tr

Giriş

Türkiye, yaşamın vazgeçilmez unsurlardan olan su kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak, artan nüfusa bağlı olarak gelişen endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, su kaynakları üzerinde hem miktar hem de kalite açısından önemli bir baskı oluşturmaktadır. İçme-kullanma ve sulama suyuna olan talebin her geçen gün arttığı göz önüne alındığında, kaynakların etkin ve doğru bir şekilde kullanımıyla beraber, sürdürülebilir kullanıma yönelik hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaların yapılması gerekmektedir [1-5].

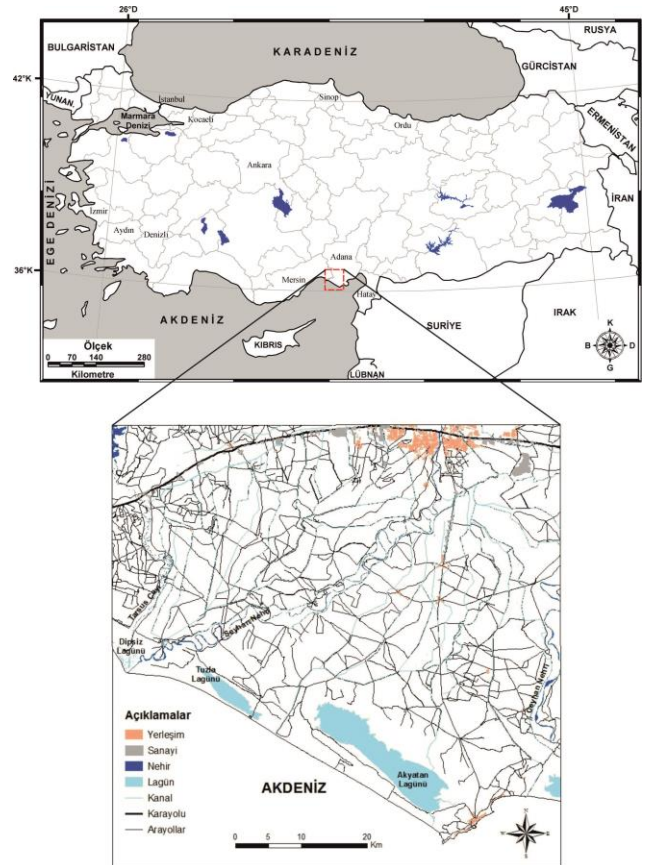
Çalışma alanı olarak belirlenen bölge, yerleşimin, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin birlikte görüldüğü Aşağı Seyhan Ovası'nı kapsamaktadır (Şekil 1). Seyhan Nehri tarafından ikiye bölünen Aşağı Seyhan Ovası'nın, Seyhan Nehri ile Tarsus Çayı (Berdan Nehri) arasında kalan kısmı "Seyhan Sağ Sahil" veya "Tarsus Ovası" olarak, Ceyhan Nehri ile Seyhan Nehri arasında kalan kısmı ise "Seyhan Sol Sahil" veya "Yüreğir Ovası" olarak isimlendirilmektedir [6-8]. Bölgede, bu ovaların sulama ihtiyacının karşılanması için yapılmış çok sayıda sulama kanalı ve ayrıca sulamadan dönen tarımsal suların toplanması için yapılmış drenaj kanalları bulunmaktadır. Ayrıca, zamanla artan nüfus ve gelişen sanayi, Seyhan Nehri'nin yerleşim merkezi sınırları içerisinde kalmasına neden olmuştur. Seyhan Nehri'ne ve drenaj kanallarına Adana ili ve civarındaki pek çok yerleşim yerinden evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları yapılmaktadır. Bu nedenle, nehir ve yeraltı suyu kalitesi tarımsal faaliyetlerin yanı sıra evsel atıklar ve endüstriyel faaliyetlerden de olumsuz olarak etkilenmektedir [6, 9, 10]. Bu bağlamda, su kaynaklarının kalitesini belirleyebilmek için çeşitli fizikokimyasal parametreler analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlarla çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Yeraltı ve yüzey suyu örneklemeleri

Bu çalışma kapsamında, Haziran-Temmuz 2014 döneminde ovadaki su kaynaklarından toplam 173 adet su örneği alınmıştır. Bunlardan 132'si kuyulardan, 5'i nehirlerden (Seyhan ve Berdan), 31'i sulama ve drenaj kanallarından, 2'si

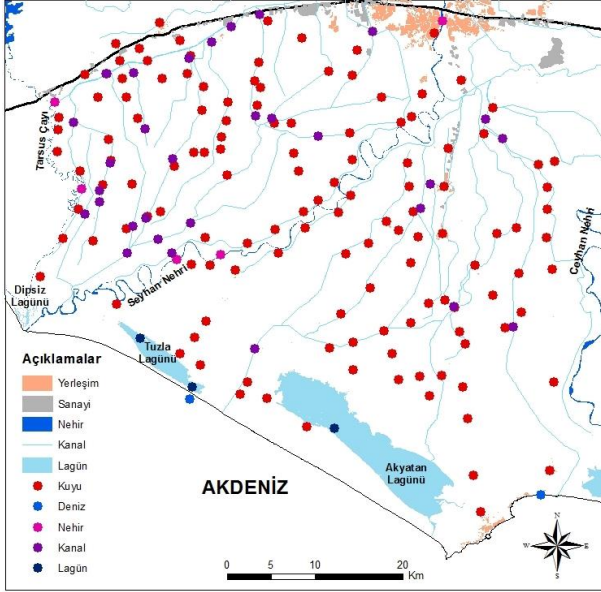
Akdeniz'den, 3'ü ise Tuzla ve Akyatan lagünlerinden alınmıştır (Şekil 2). Kuyulardan alınan su örneklerinin arazi şartlarını karakterize etmesi açısından örneklemeler, kuyu hacminin üç katı kadar miktarda su pompalandıktan sonra yapılmıştır. Yüzey sularından alınan örnekler ise kıyıdan en fazla 50 cm mesafeden ve su yüzeyinden 30 cm derinliğe örnek şişelerinin daldırılması yoluyla alınmıştır. Alınan örneklerde yerinde çeşitli fiziksel parametrelere (pH, Eh ve elektriksel iletkenlik) ait ölçümler WTW Multi 340i/SET marka portatif multiparametre cihazı ile tayin edilmiştir. Her örnekleme noktasında ikişer adet 250 mL kapasiteli yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) plastik şişeler kullanılmıştır. Bu şişelerden birine, kationların şişeye absorbe olmasını veya çökmesini önlemek amacıyla $\text{pH} < 2$ olacak şekilde nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası [5].

Alınan su örnekleri, buharlaşma etkilerini azaltmak açısından laboratuvara bir buzlukta

taşınmış ve analizler yapılmaya kadar soğutucuda +4°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 2. Yeraltı ve yüzey suyu örnekleme noktaları.

Analitik prosedür

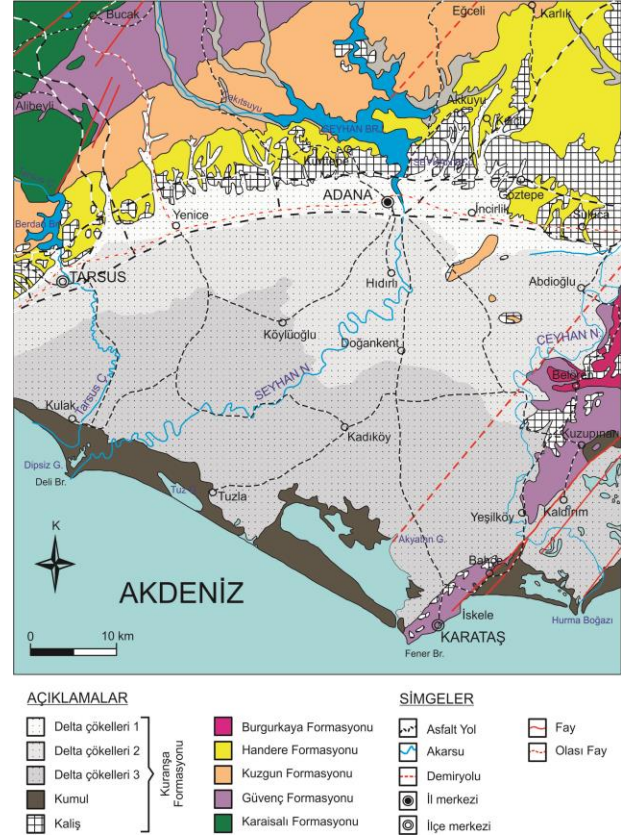
Alınan su örneklerine ait 4 majör kationun (Ca, Mg, Na ve K) konsantrasyonları Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde (MEİTAM) bulunan Agilent 7500ce marka ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür. Ayrıca, kontrol amaçlı olarak, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Perkin Elmer 700 model Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılarak da ölçümler yapılmıştır. Klorür, sülfat, nitrat, nitrit, fosfat ve florür konsantrasyonları ise Hach Lange DR2800 marka spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Karbonat ve bikarbonat konsantrasyonları ise EPA 310.1'e göre titrasyon yöntemiyle saptanmıştır.

Bulgular

Jeoloji ve hidrojeoloji

Birbirinden farklı ve çok sayıda litolojik birimin yer aldığı bölgede, Oligosen-Pliyosen zaman aralığında çökelen sedimanter kayalarla temsil edilen Tersiyer birimleri, Toros orojenik kuşağını oluşturan Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı

temel kayaların oluşturduğu engebeli topoğrafya üzerine uyumsuz olarak gelmektedir [11,12]. Bu birimleri de, çoğunlukla karasal bir fasiyeste çökelen, gevşek tutturulmuş veya tutturulmamış, kaba akarsu konglomeraları, kumtaşları, kil ve siltlerden oluşan Kuranşa formasyonu üzerlemektedir [13-15] (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002'den değiştirilerek) [16].

Siciliyen sonlarında Adana bölgesinde meydana gelen çöküntü alanlarının, daha sonra oluşan akarsu ve kolları tarafından getirilen materyallerle dolması sonucu delta çökelleri birikmiştir. Bu çökeller Şenol vd. [17] tarafından stratigrafik olarak alttan üste ve karadan denize doğru Delta çökelleri 1, Delta çökelleri 2, Delta çökelleri 3 olarak üçe farklı fasiyese ayrılmıştır.

Yakın tarihte ve günümüzde, kıyıda esen şiddetli rüzgârların etkisi ile kıyıdaki kumların onlarca metre içerilere kadar taşınması sonucu bölgede kıyı kumulları oluşmuştur. Kumulların kaynak kayaları Miyosen öncesi metamorfikler, magmatikler, ofiyolitler, Neojen ve daha genç birimler olmakla birlikte, genellikle

ofiyolitlerden türeyen minerallerin egemen olduğu görülmektedir [17].

Çalışma alanının şekillenmesinde etkili olan nehirlerin başında, toplam uzunluğu 560 km, en düşük debisi 31 m³/s olan Seyhan Nehri gelmektedir. Çalışma alanının doğu sınırını oluşturan Ceyhan Nehri'nin ise toplam uzunluğu 509 km olup, ortalama debisi 180 m³/s'dir [18]. Ovanın şekillenmesine nispeten daha az katkısı olan ve çalışma alanının batı sınırını oluşturan Tarsus Çayı (Berdan Nehri) ise 124 km uzunluğa sahip olup ortalama debisi 39,5 m³/s'dir [19].

Seyhan Nehri'nin ana kolu üzerinde, Adana ilinin kuzeyinde Seyhan Barajı ve Hidroelektrik Santrali bulunmaktadır. Barajın kuzeyinde ise Adana'nın içme ve kullanma suyunu sağlayan Çatalan Barajı yer almaktadır. Seyhan Barajı'nın hemen güneyinde bulunan Seyhan Regülatöründen, Tarsus (Seyhan Sağ Sahil) ve Yüreğir (Seyhan Sol Sahil) ovalarına ana kanallarla ortalama 130 m³/s debiyle sulama suyu iletilmektedir. Derinlikleri 1,5 m ile 6 m arasında değişen drenaj kanallarına sulama kanallarından bağlantı bulunmaktadır. Ayrıca ovada bulunan sanayi kuruluşlarından ortalama 30-40 L/s miktarındaki atıksu drenaj kanallarına boşaltılmaktadır [20].

İçme-kullanma ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak üzere DSİ (Devlet Su İşleri) ve YSE (Yol, Su ve Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü) tarafından bölgede çok sayıda sondaj kuyusu açılmıştır. Şahıslar tarafından açılan kuyular da dâhil olmak üzere bölgede yaklaşık olarak 500 adet sondaj kuyusunun bulunduğu söylenebilir.

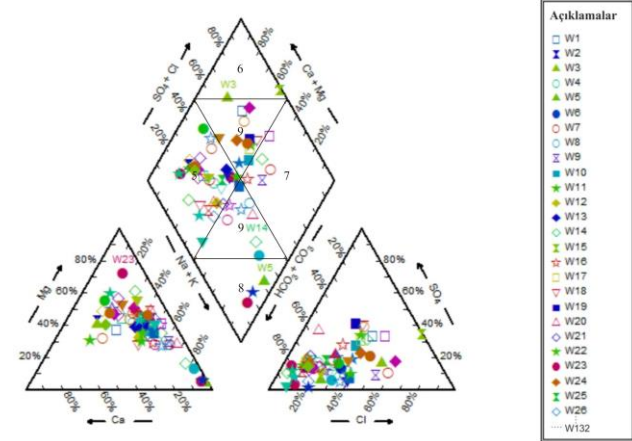
Çalışma alanı sınırları içerisinde batıdan doğuya doğru Dipsiz, Tuzla, Akyatan ve Ağyatan Lagün sistemleri gözlenmektedir. Bunlar, deltanın şekillenmesinde etkili olan Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin taşımış olduğu çökellerin rüzgâr ve dalgalarla kıyıya paralel olarak taşınması ve oluşturdukları kum tepeleri ile kara arasındaki çukurluklara deniz sularının dolması ile oluşmuşlardır [18, 21].

Çalışma alanındaki akifer litolojisi oldukça heterojen bir yapıya sahip olup tipik bir kıyı akiferi karakteri sergilemektedir.

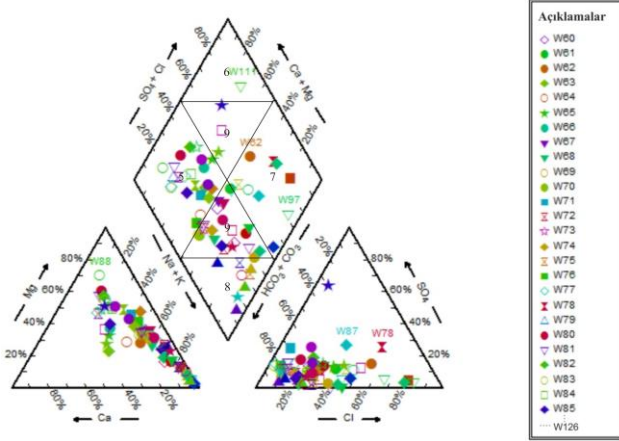
Hidrojeokimya

Havza bazında yapılan hidrojeolojik araştırmalarda benzer özellikteki suların değerlendirilmesi veya suların hidrojeokimyasal evrim süreçlerinin açıklanabilmesi ve bu değerlendirmelerin görsel olarak sunulabilmesi için, kimyasal analiz sonuçları uygun grafiklere aktararak yorumlamalar yapılır [5]. Bu çalışma kapsamında, analiz sonuçları çeşitli diyagramlar (Piper, Durov, Yarı Logaritmik Schoeller, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox) [22-26] üzerinde değerlendirilerek sınıflandırılmış ve tanımlamalar yapılmıştır.

Çalışma alanından alınan yeraltı suları Piper diyagramında değerlendirildiğinde, Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı sularının yoğunluklu olarak karbonat sertliği %50'den fazla olan, toprak alkalilerin (Ca²⁺+Mg²⁺) alkalilerden (Na⁺+K⁺), zayıf asit köklerinin (CO₃²⁻+HCO₃⁻) de güçlü asit köklerinden (SO₄²⁻+Cl⁻) daha fazla olduğu 5. bölgede, Yüreğir Ovası'ndan alınan yeraltı sularının ise daha çok iyonlarının hiçbirinin %50'yi geçmediği, karışık suların bulunduğu 9. bölgede olduğu gözlenmiştir (Şekil 4, Şekil 5).



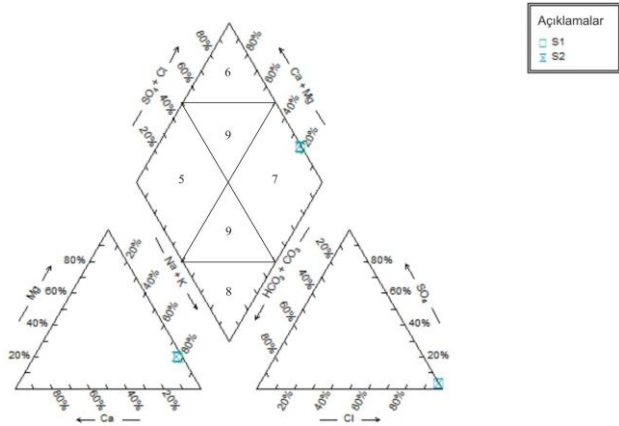
Şekil 4. Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].



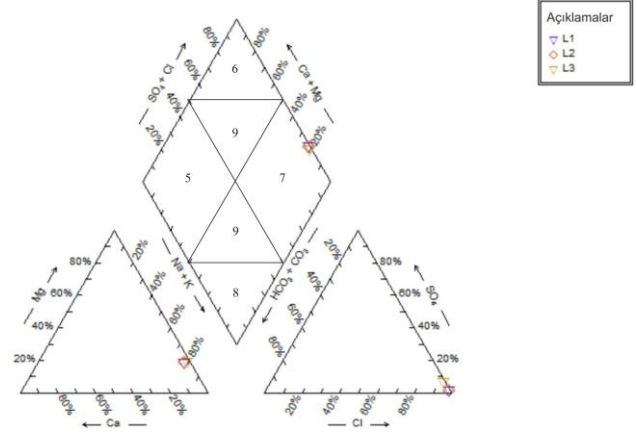
Şekil 5. Yüreğir Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].

Akdeniz'den ve lagünlerden (Tuzla ve Akyatan) alınan sular karbonat olmayan sertliğin %50'den fazla olduğu, alkalilerin ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) toprak alkalilerden ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$), güçlü asit köklerinin ($\text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^-$) de zayıf asit köklerinden ($\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$) daha fazla olduğu 7. bölgede, NaCl su tipindedir (Şekil 6, Şekil 7).

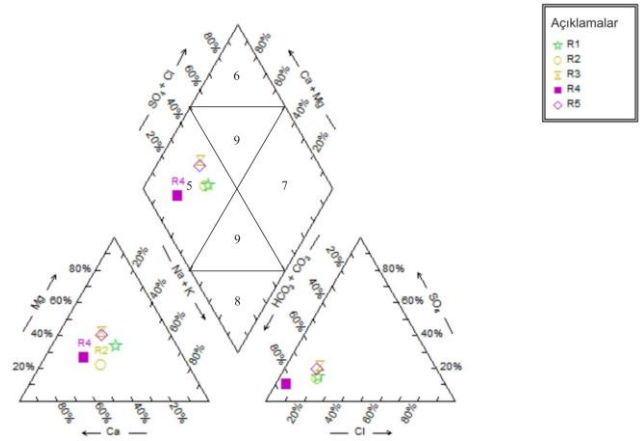
Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan sular ise karbonat sertliği %50'den fazla olan (5. bölge) su tipindedir (Şekil 8).



Şekil 6. Akdeniz'den alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].



Şekil 7. Lagünlerden (Tuzla ve Akyatan) alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].

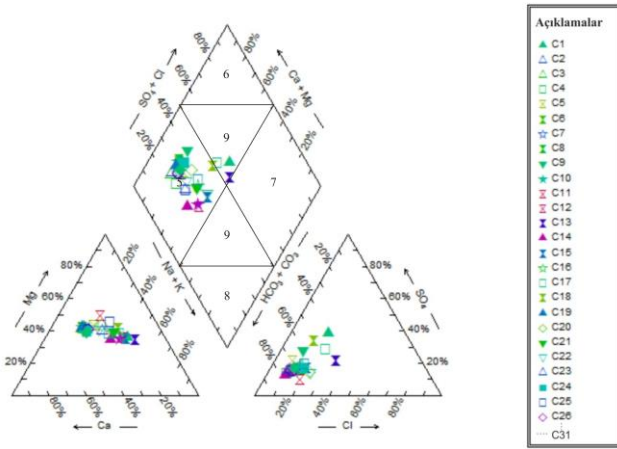


Şekil 8. Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].

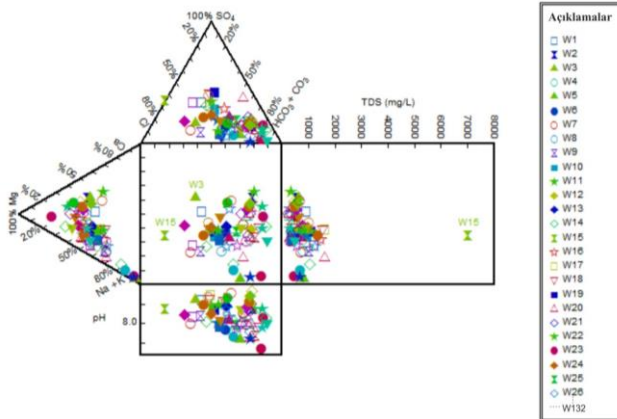
Kanallardan alınan suların Piper diyagramındaki konumlarına bakıldığında ise üç kanallın baskın iyon içermeyen karışık su tipinde olduğu, geri kalanların ise karbonat sertliği %50'den fazla olan 5. bölgede olduğu gözlenmiştir (Şekil 9).

Çalışma alanından alınan yeraltı suları, Tarsus ve Yüreğir ovaları için oluşturulan iki ayrı Durov diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 10, Şekil 11). Tarsus Ovası yeraltı sularının toplam çözünmüş madde (TÇM) miktarları 266,2-7052,1 mg/L arasında, pH değerleri ise 7,19-8,64 arasında değişmektedir. Yüreğir Ovası yeraltı sularının TÇM miktarları 270,9-2637,4 mg/L arasında, pH değerleri ise 7,11-8,73 arasında değişmektedir. Aşağı Seyhan Ovası'ndan alınan W15 nolu örnek haricindeki bütün yeraltı suyu örneklerinin TÇM

miktarlarının ve pH değerlerinin yaklaşık olarak birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

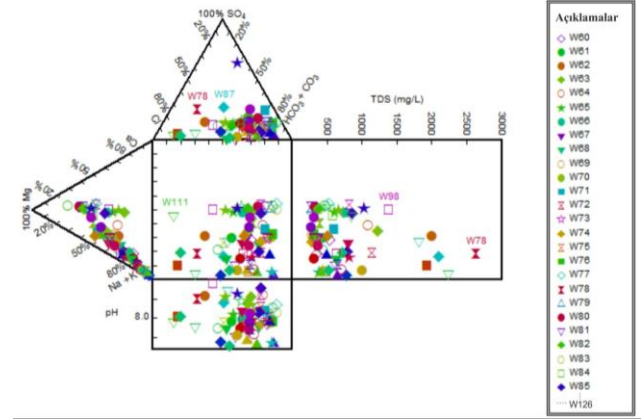


Şekil 9. Kanallardan alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı [5].

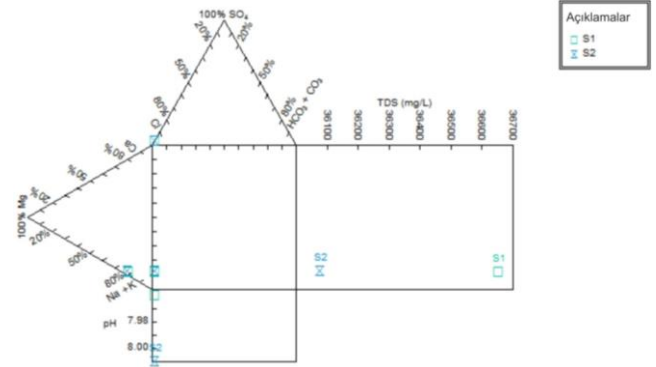


Şekil 10. Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].

Durov diyagramına yerleştirilen Akdeniz ve lagün (Tuzla ve Akyatan) suları için ana katyonun Na^+ , anyonun ise Cl^- olduğu görülmektedir (Şekil 12, Şekil 13). Akdeniz'den alınan örneklerin TÇM miktarları 36077,9 ve 36656,5 mg/L iken, pH değerleri 7,96 ve 8,01'dir. Lagünlerden alınan örneklerin TÇM miktarları 48353,1 ile 97253,6 mg/L arasında, pH değerleri ise 7,92 ile 8,75 arasında değişim göstermektedir.

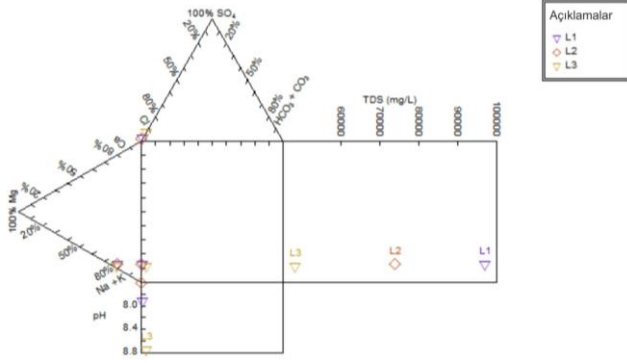


Şekil 11. Yüreğir Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].

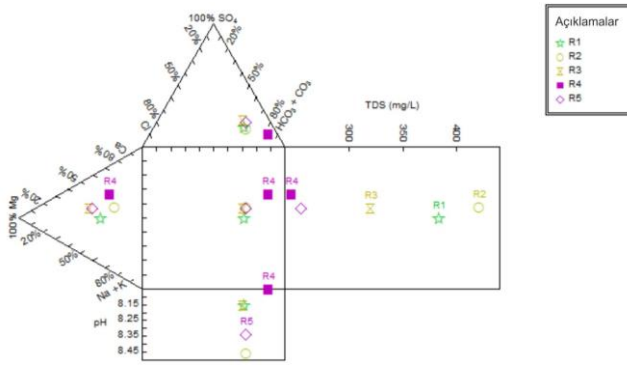


Şekil 12. Akdeniz'den alınan su örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].

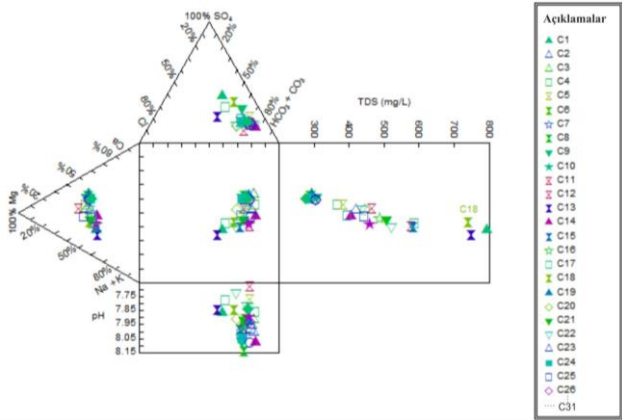
Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) ve kanallardan alınan örneklerin Durov diyagramındaki dağılımları incelendiğinde, sularda katyonlar açısından hâkim iyonların değişken olduğu, anyonlar açısından ise hakim iyonun HCO_3^- olduğu gözlenmiştir. Nehirlerden alınan suların toplam TÇM miktarları 246,7-421,6 mg/L, pH değerleri ise 8,06-8,46 arasında değişmektedir (Şekil 14). Kanallardan alınan suların ise toplam TÇM miktarları 278,7-794,5 mg/L, pH değerleri ise 7,68-8,14 arasında değişmektedir (Şekil 15).



Şekil 13. Lagünlerden (Tuzla ve Akyatan) alınan su örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].



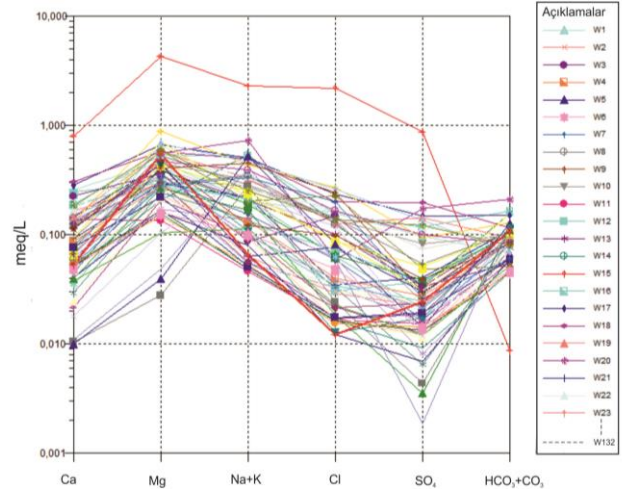
Şekil 14. Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan su örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].



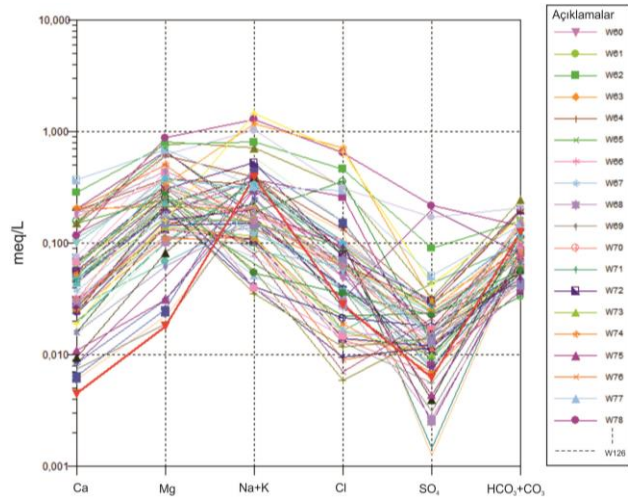
Şekil 15. Kanallardan alınan su örneklerinin Durov diyagramındaki dağılımı [5].

Çalışma alanından alınan yeraltı suları, Tarsus ve Yüreğir ovaları için oluşturulan iki ayrı Schoeller diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 16, Şekil 17). Diyagramlarda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip olan sular benzer pik değerler vermektedir. Tarsus Ovası'ndan alınan W15 nolu örnek, hem

iyon içeriklerinin yüksek olması hem de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ve Cl^- içeriklerinin havza geneline göre belirgin farklılıklar göstermesi ile ayırt edilebilmektedir (Şekil 16). Ayrıca ovalardan alınan bazı suların diğer sular ile benzer paralelliğe sahip olmadığı, bu suların dolaşım sürecinin fazla olması nedeniyle aynı akiferde dolaşan diğer sulara göre bazı iyonlarca farklı miktarda zenginleştiği gözlenmiştir (Şekil 16, Şekil 17).

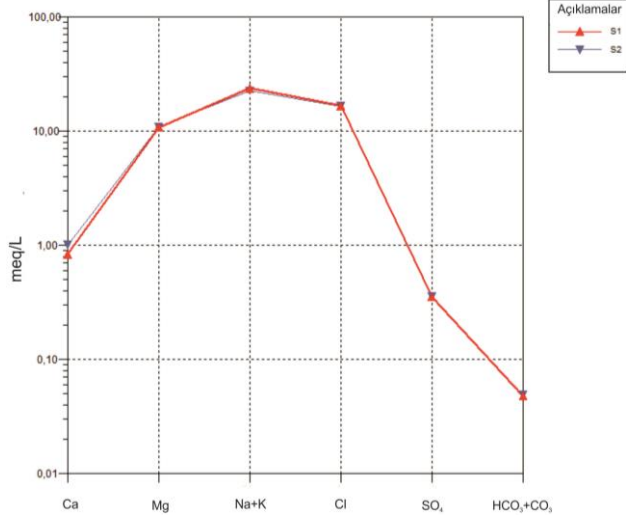


Şekil 16. Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].

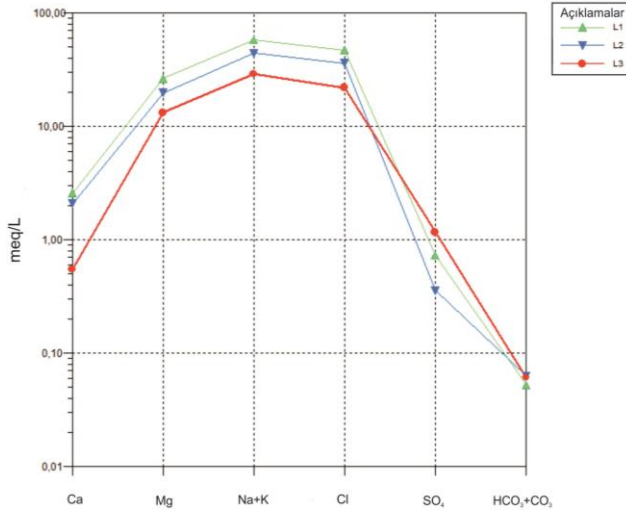


Şekil 17. Yüreğir Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].

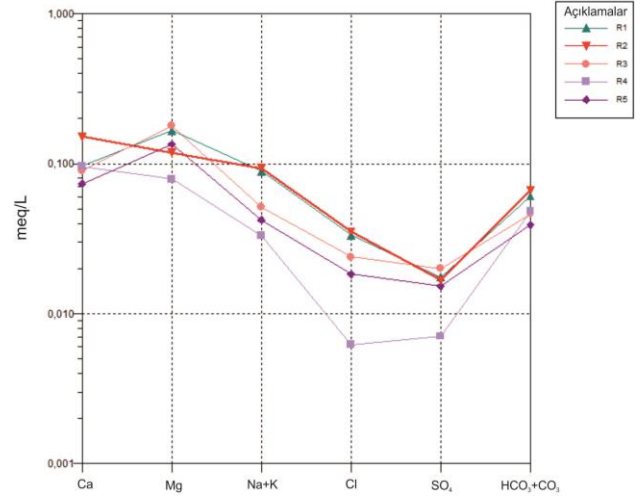
Akdeniz'den ve lagünlerden (Tuzla ve Akyatan) alınan suların benzer özellikler taşıdıkları ve yarı logaritmik diyagram üzerinde paralel bir dizilim gösterdikleri gözlenmiştir (Şekil 18, Şekil 19). Nehirlerden alınan örnekler ile kanallardan alınan 18 örnek, Ca^{+2} ve $Na^{+}+K^{+}$ içeriklerinin diğer örneklerle göre belirgin farklılıklar göstermesi ile ayırt edilebilmektedir (Şekil 20, Şekil 21).



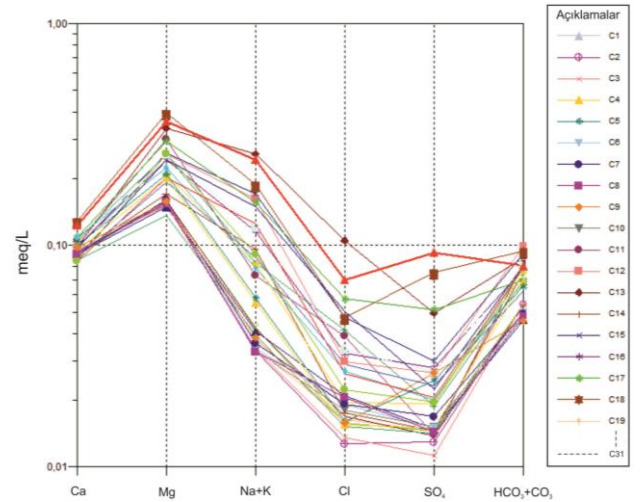
Şekil 18. Akdeniz'den alınan su örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].



Şekil 19. Lagünlerden (Tuzla ve Akyatan) alınan su örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].



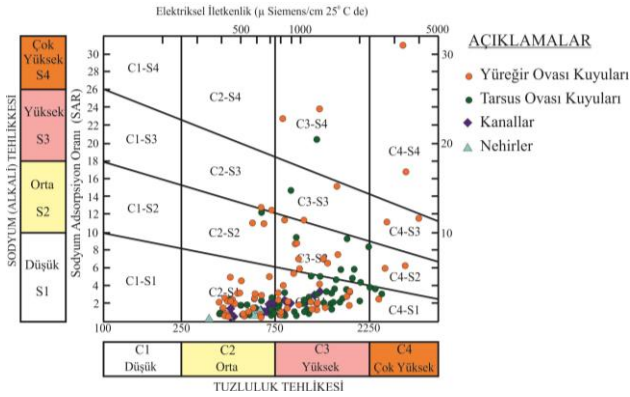
Şekil 20. Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan su örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].



Şekil 21. Kanallardan alınan su örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımı [5].

Çalışma alanından alınan yeraltı ve yüzey sularının sulama suyu olarak kullanılabilirliği, oluşturulan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı yardımıyla değerlendirilmiştir (Şekil 22). Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı sularının SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranları) değerleri 0,69-20,44 arasında, EC değerleri ise 389-5930 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Yüreğir Ovası'ndan alınan yeraltı sularının SAR değerleri 0,49-30,99 arasında, EC değerleri ise 387-4010 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Tarsus Ovası'ndan alınan W15 nolu örneğin elektriksel iletkenlik değeri ($EC > 5000 \mu S/cm$) yüksek

olduğu için ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına yerleştirilememiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Çalışma alanından alınan su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı [5].

Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %51'i ile Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin %28'i C3-S1 sınıfına giren, fazla tuzlu ve az sodyumlu sular olup, sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında, drenaj yapılmaksızın bitki sulama amaçlı kullanılamaz. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %29'u ile Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin %37'si C2-S1 sınıfına giren, orta tuzlulukta ve az sodyumlu sular olup, orta derecede tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilirler. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %11'ini, Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin %12'sini oluşturan C3-S2 sınıfına giren fazla tuzlu, orta derecede sodyumlu olan sular, permeabilitesi iyi olan jipsli araziler için uygun olup drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Ovalardan alınan birkaç örnek C3-S4 sınıfına giren fazla tuzlu ve çok fazla sodyumlu sular olup sulama suyu olarak kullanıma uygun değildirler. Birkaç örnek C4-S1 sınıfına giren çok fazla tuzlu ve az sodyumlu sular olup, sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir, ancak drenajın çok iyi sağlandığı yerlerde bitkiler yetişebilir. Bunların dışında bölgede, C2-S2 sınıfına giren, orta tuzlulukta ve orta derecede sodyumlu sular da mevcut olup bunlar orta derecede suya ihtiyaç duyan bitkiler için kullanılabilir niteliktedirler. Ayrıca üç örnek C3-S3 sınıfına giren fazla tuzlu ve fazla sodyumlu su sınıfında olup, ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilirler. Yüreğir Ovası'ndan alınan iki örnek C2-S3 sınıfına giren orta tuzlulukta ve fazla sodyumlu sular

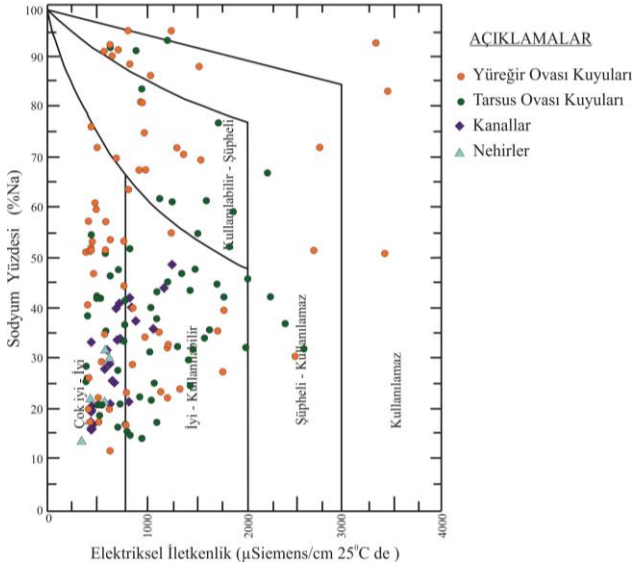
olup ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilirler. Yüreğir Ovası'ndan alınan C4-S2, C4-S3 ve C4-S4 sınıfına giren sular sulamada kullanılamazlar.

Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan su örneklerinin SAR değerleri 0,43-1,37 arasında, EC değerleri ise 344-626 µS/cm arasında değişmektedir. C2-S1 sınıfına giren bu sular, orta derecede tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilirler (Şekil 22).

Kanallardan alınan su örneklerinin SAR değerleri 0,53-3,37, EC değerleri ise 438-1262 µS/cm arasında değişmektedir. Alınan örneklerin %77'si C2-S1 sınıfına girmektedir. Bu sular orta derecede tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilirler. Suların %23'ü ise C3-S1 sınıfına giren fazla tuzlu ve az sodyumlu sular olup, sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında, drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamazlar (Şekil 22).

Çalışma alanından alınan yeraltı ve yüzey sularının sulama suyu olarak kullanılabilirliği ayrıca Wilcox diyagramı yardımıyla değerlendirilmiştir (Şekil 23). Tarsus Ovası'ndan alınan W15 nolu örneğin ve Yüreğir Ovası'ndan alınan W78 nolu örneğin elektriksel iletkenlik değerleri (EC>4000 µS/cm) yüksek olduğu için bu su örnekleri Wilcox diyagramına yerleştirilememiştir. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %36'sı, Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin ise %39'u "çok iyi-iyi" sınıfındadır. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %40'ı, Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin ise %25'i "iyi-kullanılabilir" sınıfındadır. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin %12'si, Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin %14'ü "kullanılabilir-şüpheli" sınıfındadır. Tarsus Ovası'ndan alınan örneklerin geri kalan %12'si ile Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin %16'sı "şüpheli-kullanılamaz" sınıfındadır. Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin geriye kalan %6'lık kısmı ise "kullanılamaz" sınıfına girmektedir.

Nehirlerden (Berdan ve Seyhan) alınan örnekler ile kanallardan alınan örneklerin %81'i "çok iyi-iyi" sınıfına, kanallardan alınan örneklerin %19'u ise "iyi-kullanılabilir" sınıfına girmektedir (Şekil 23).



Şekil 23. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Wilcox diyagramındaki dağılımı [5].

Sonuçlar

Çukurova Deltası'nın büyük bir kısmını kapsayan Aşağı Seyhan Ovası'nın yeraltı ve yüzey üstü su kalitesinin belirlenmesi amacıyla Haziran-Temmuz 2014'te bölgedeki mevcut sığ kuyulardan ve yüzey sularından toplam 173 adet su örneği alınmıştır. Alınan örneklerde çeşitli fizikokimyasal parametrelere ait ölçümler yapılmıştır. Elde edilen veriler, oluşturulan çeşitli diyagramlar (Piper, Durov, Yarı Logaritmik Schoeller, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Oluşturulan Piper diyagramları incelendiğinde; Tarsus Ovası'ndan alınan yeraltı suyu örnekleri ile nehirlerden ve kanallardan alınan örneklerin çoğunun karbonat sertliğinin %50'den fazla olan, toprak alkalilerin ($Ca^{+2}+Mg^{+2}$) alkalilerden ($Na^{+}+K^{+}$), zayıf asit köklerinin ($CO_3^{-2}+HCO_3^{-}$) de güçlü asit köklerinden ($SO_4^{-2}+Cl^{-}$) daha fazla olduğu su sınıfında olduğu, Yüreğir Ovası'ndan alınan örneklerin ise iyonların hiçbirinin %50'yi geçmediği, karışık tip sular sınıfında olduğu gözlenmiştir. Akdeniz ve lagünlerden alınan sular ise NaCl su tipindedir.

Oluşturulan Durov diyagramlarında, bir noktadan alınan yeraltı suyu örneği haricindeki diğer örneklerin TÇM miktarlarının ve pH değerlerinin yaklaşık olarak birbirine yakın

olduğu gözlenmiştir. Diyagramlar incelendiğinde Akdeniz'den ve lagünlerden alınan suların ana katyonunun Na^{+} , anyonunun ise Cl^{-} olduğu, nehirlerden ve kanallardan alınan örneklerin katyonlar açısından hâkim iyonlarının değişken olduğu, anyonlar açısından ise hâkim iyonun HCO_3^{-} olduğu gözlenmiştir.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örnekleri için oluşturulan Yarı Logaritmik Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip olan suların benzer pik değerler verdiği, dolaşım sürecinin fazla olması nedeniyle aynı akiferde dolaşan diğer sulara göre bazı iyonlarca farklı miktarda zenginleşen suların ise benzer paralellige sahip olmadığı gözlenmiştir. Akdeniz'den ve lagünlerden alınan örneklerin benzer özellikler taşıdıkları gözlenirken, nehirlerden alınan örnekler ile kanallardan alınan bazı örneklerde Ca^{+2} ve $Na^{+}+K^{+}$ içeriklerinin diğer örneklere göre farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir.

Çalışma alanından alınan yeraltı sularının sulama suyu açısından değerlendirilebilmesi için oluşturulan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında suların C2-S1, C2-S2, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3 ve C4-S4 sınıflarında yer aldığı ve birkaç su örneği haricinde alınan örneklerin sulama suyu olarak kullanılabileceği gözlenmiştir. Ayrıca nehirlerden alınan örnekler ile kanallardan alınan örneklerin büyük bir kısmının C2-S1 sınıfına giren sular olduğu ve orta derecede tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabileceği gözlenmiştir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Bu diyagrama göre yeraltı suları "çok iyi-iyi", "iyi-kullanılabilir", "kullanılabilir-şüpheli", "şüpheli-kullanılamaz" ve "kullanılamaz" sınıflarında yer almaktadır. Nehirlerden alınan örnekler ile kanallardan alınan örneklerin büyük bir kısmı "çok iyi-iyi" sınıfında, kanallardan alınan örneklerin geri kalan kısmı ise "iyi-kullanılabilir" sınıfında yer almaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından

FBE JMB (CA) 2012-5 DR numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] A. Davraz, Y. Bal, F. Aksever ve S. Varol, “Şuhut (Afyonkarahisar) Batısı Su Kaynaklarının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi”, (Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi), Sayı 2, 2019.
- [2] C. Başaran, “Afyon Kocatepe Üniversitesi-Ans Kampüsü (Afyonkarahisar) Yeraltısularının Hidrojeokimyası ve Kullanılabilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi”, (Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi), Sayı 2, 2019.
- [3] Ş. Şener ve H. Kibar, “Karagöl (Borçka-Artvin) Gölü ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi”, (Jeoloji Mühendisliği Dergisi), Sayı 41, 2017.
- [4] F. G. Piga, N. G. R. Tão, M. H. Ruggiero, D. S. Marquezola, W. L. O. Boina, C. W. C., J. A. Lollo, R. Lorandi, E. A. Melanda and L. E. Moschini, “Multi-criteria Potential Groundwater Contamination and Human Activities: Araras watershed, Brazil”, (Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources), Vol 56, 2017.
- [5] Akbulut Can, “Aşağı Seyhan Ovası (Adana) yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası”, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2016.
- [6] A. Yüceer ve N.G. İnkayalı, “Aşağı Seyhan Nehri Su Kalitesi Değişiminin QUAL2E Modeli ile İncelenmesi”, Araştırma, (Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi), Sayı 3, 2004.
- [7] Seyran Zeki, “Aşağı Seyhan Ovasının geçmişten günümüze arazi kullanımındaki değişiminin, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
- [8] Soyak Aslıhan, “Aşağı Seyhan Ovası sulama sistemlerindeki yabancı otlanma ve yabancı ot türleri ile üzerindeki doğal düşmanların saptanması”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2009.
- [9] G. Aslan, G. Tumbat, S. Soyupak, C. Yurteri, “Aşağı Seyhan Havzasında Besin Maddesi Taşınımı”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, Sayı 23, 1999.
- [10] A.K. Onur, E. Ekemen, S. Soyupak ve C. Yurteri, “Management strategies for the Lower Seyhan Catchment”, Sayı 10, 1999.
- [11] G. Öğrünç, K. Gürbüz ve A. Nazik, “Adana Baseni Üst Miyosen-Pliyosen İstifinde Messiniyen Tuzluluk Krizine Ait Bulgular”, (Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni), Sayı 22, 2000.
- [12] F. Taraf, M. Eren ve K. Gürbüz, “Karaisalı Formasyonu'nun (Adana Baseni-Türkiye) Fasiyes ve Mikrofasiiyes Özellikleri”, Türkiye Jeoloji Bülteni, Sayı 3, 2013.
- [13] G. Schmidt, “VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü”, (Petrol Dergisi), Sayı 6, 1961.
- [14] M. N. Yalçın, “Adana Havzası'daki Petrol ve Doğal Gazın Kökeni”, Türkiye 7. Petrol Kongresi, 427-434, (1987).
- [15] Taşkaya Zeynep, “Adana havzası (Yenice-Karaisalı/Adana) Miyosen yaşlı istiflerinin yeraltı jeolojisi ve hazne kaya özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
- [16] Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), Adana, 1:500.000 Jeoloji Haritası, Ankara, 2002.
- [17] M. Şenol, S. Kapur ve Ş. Şahin, “Adana havzası Kuvaterneri”, İ.T.Ü. Maden Fak. Türkiye Kuvaterneri Workshop Bildiri Özleri, İstanbul, 24–27, (1993).
- [18] Dinçer Ayşegül, “Aşağı Seyhan Ovası (ASO)'nda su kaynaklarının geliştirilmesi ile lagünlerin ilişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.
- [19] Ö. Özbay, M. Z. L. Göksu ve M. T. Alp, “Bir Akarsu Ortamında (Berdan Çayı, Tarsus-Mersin) En Düşük ve En Yüksek Akım Dönemlerinde Bazı Fiziko-Kimyasal Parametrelerin İncelenmesi”, (Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi), Sayı 1, 2011.
- [20] Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş., Seyhan Havzası Master Plan Ara Raporu, Adana, 2011.
- [21] A. Yaşar, G. Abasıkeleş ve N. Yalçın, “Adana ilinin arazi kullanım potansiyeli”, MTA Genel Müdürlüğü, 10239, Ankara, (1999).
- [22] A.M. Piper, “Interpretation of Water Analyses”, Geological Survey Water Resources Division No.12., 1979.
- [23] S.A. Durov, “Natural Waters and Graphic Representation of Their Compositions”, Akademiya Nauk SSSR Doklady 59, 87–90, 1948.
- [24] H. Schoeller, “Les Eaux Souterraines, Hydrologie Dynamique et Chimique”, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. 187 fig. Paris: Masson et Cie, Éditeurs. 642 p. NF 105, 1962.
- [25] United States Salinity Laboratory Staff (USSLS), “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils”, United States Department of Agriculture, Handbook 60, 160 pp, 1954.
- [26] L.V. Wilcox, “The Quality of Water for Irrigation Use”, US Department of Agriculture Technology Bulletin 962, Vol. 40, Washington DC., 1948.

Gelişmekte Olan ve Gelişmiş Ülkelerde Yüksek Hızlı Demiryolu Yatırım Kriterlerinin İncelenmesi

A Review of High Speed Railway Investment Criterias in Developed and Developing Countries

Mehmet Fatih Altan^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıltaş², Yunus Emre Ayözen³

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mehmetaltan@aydin.edu.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

³ Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, yunusemre.ayozen@dhsi.gov.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 27 Haziran 2019
Düzeltilme: 5 Temmuz 2019
Kabul: 8 Ağustos 2019

Anahtar kelimeler:

Altyapı, yüksek hızlı demiryolları, gelişmişlik seviyesi, türel dağılım, ulaşım altyapıları

ÖZET

Altyapı yatırımları gelişmiş olan ülkelerin yıllık bütçesinden az bir pay almaktadır. Zira bu ülkeler altyapı kurulum süreçlerini büyük ölçüde tamamlamışlardır. Gelişmemiş olan ülkelerde de altyapı yatırımlarının yıllık bütçeden aldığı pay düşüktür. Çünkü bu ülkeler muhtelif büyüme unsurlarını ekonomik güç ile teşvik edemediklerinden dolayı önemli altyapı yatırımlarına girilemezler. Gelişmekte olan ülkelerde ise altyapı yatırımlarının yıllık bütçeden aldığı pay yüksektir. Bu ülkelerde nüfus büyümekte, kentleşme artmakta, hem arz ve hem de talep yükselmektedir. Ekonomik büyüme eğilimi de söz konusudur. Dolayısı ile altyapı büyümesi de ekonomik büyüme ve ülkenin büyümesi ile eş güdümlü götürülmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle yoğun bir altyapı kurulum süreci yaşanmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak yüksek hızlı demiryolları ve yeni penetre olduğu bir sistemdeki gelişim kriterleri ele alınmıştır. Ardından ise bu tür için koridor seçim esasları ortaya konulmuştur. Sonrasında çok sayıda ülke üzerinden küresel karşılaştırmalar yapılmıştır. Son olarak da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.667374

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 June 2019
Revised: 5 July 2019
Accepted: 8 August 2019

Keywords:

Infrastructure, high speed railways, developing level, modal distribution, transportation infrastructure

ABSTRACT

Infrastructure investments take a small share on yearly budget of developed countries. Because these countries have finished their infrastructural establishment period in a vast scale. In undeveloped countries, infrastructure investments take a small share on yearly budget too. Because of these countries can not encourage various developing parameters with economical power, they can not take initiative for significant infrastructure investments. But in developing countries, infrastructure investments take a high share on yearly budget. In these countries, population is increasing, urbanization is advancing, both supply and demand are enhancing. Also an economical development factor is present too. Hence infrastructural developing is tried to progress on an integrated manner with economical development and national advancement. Because of these a densely infrastructural development period is processed. In this paper firstly high speed railways and development criterias of a system that this mode has just penetrated are evaluated. Then corridor choice essentials are revealed for high speed railways. After these global comparisons are done in terms of many countries. Finally, conclusions and recommendations are given.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Fatih ALTAN
✉ mehmetaltan@ticaret.edu.tr

Giriş

Günümüzde kimi çalışmalarda demiryolu sistemi üzerine yoğunlaşmak yerine otomobil ve havayolu ulaştırma türlerinin geliştirilmesi ile ilgilenilmektedir. Fakat kullanıcı davranışları ele alındığında bir yolculuk tercihinde sadece teknik imkânlar değil aynı zamanda sosyal eğilimlerinin de etkili olduğu görülecektir. Eğer sosyal dinamiklerin demiryolu ulaştırmasının gelişimine adaptasyonu söz konusu olursa yüksek hızlı demiryolları modern ulaştırma sisteminde öncül bir konuma gelebilir. Bu yönde çalışmalara odaklanılması için fazlası ile gerekçe bulunmaktadır. Çelik tekerlekli demiryolları etkili ve doğrudan bir hizmet sunmaktadır. Yüksek hızlı demiryolları 50 yıllık bir deneyime sahip olup küresel ölçekte yaygınlık kazanmış bir ulaştırma türüdür. Bu çalışma kapsamında öncelikle Avrupa Birliği ölçeğinde yüksek hızlı demiryollarının konumu ele alınmış, ardından Almanya ve Birleşik Krallık örnekleri incelenmiş, akabinde de bu ulaştırma türü odağında bir Amerika Birleşik Devletleri-Avrupa Birliği kıyası sunulmuştur. Son olarak da küresel ölçekte yüksek hızlı demiryolunda olması gerekenler ile ilgili çıkarımlar yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı küresel ölçekteki gelişme eğilimleri üzerinden yüksek hızlı demiryollarının oluşum sürecini tartışmaktır [1].

Yüksek hızlı demiryolları ilk defa Japonya'da ortaya çıktığından bugüne 50 yılı aşkın bir deneyime ulaşmıştır. Söz konusu ulaştırma türü erken dönem ileri düzey örneklerini Japonya, Fransa ve Almanya'da ortaya koymuştur. Takip eden yıllarda ise İtalya, İsveç, Birleşik Krallık, Güney Kore, İspanya ve Rusya gibi ülkeler sürece dâhil olmaya başlamıştır. 2000'li yıllar ile birlikte İspanya ve Çin'in yüksek hızlı demiryollarındaki (YHD) muazzam yükselişine şahitlik edilmiştir. Günümüz itibari ile sektörün liderleri olarak Japonya, İspanya, Fransa ve Çin zikredilmektedir. Türkiye'nin de 2000'li yıllar ile birlikte sektöre dâhil olması ve hızlı ilerleyişi

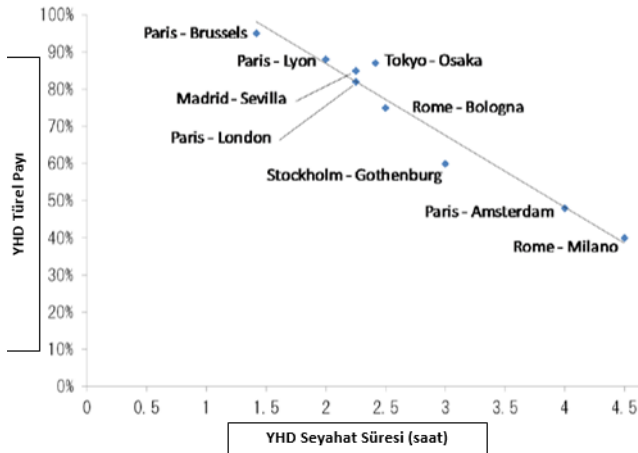
söz konusudur. Bahsi geçen ülkelerin hemen hepsi bir şekilde yüksek hızlı demiryollarına (YHD) sahiptir. Hatta bu liste mevcut durumda Cezayir, Arjantin, Suudi Arabistan, Meksika, Singapur, Tayvan, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Özbekistan ve İran gibi ülkeler ile de uzatılabilir. Ancak bu noktada henüz yüksek hızlı demiryollarının tek bir tanımına tam anlamı ile ulaşılamamıştır. Altyapı, hız, hizmet parametreleri, işletim şekilleri vb. değerlendirme kıstaslarına göre önemli farklılıklar oluşabilmektedir. Dolayısı ile bu noktada yüksek hızlı demiryollarının da (YHD) kendi içerisinde, ülkeler üzerinden karşılaştırmalı değerlendirmeler ile önceliklere göre nasıl değerlendirilmesi gerekliliği noktasında bir ölçüt geliştirilmelidir. Bu çalışma kapsamında bu gereksinim yolunda bir ilk adım atılmaya çalışılmaktadır [2]. Almanya'daki yüksek hızlı tren işletimi ise kentler arası yüksek hız anlamını taşıyan ICE tarafından gerçekleştirilmektedir. Almanya'da hatlar kimi yerlerde doğu batı akslı olmakla beraber esasen kuzey güney akslı baskın bir karaktere sahiptir. Ana hat eksenleri ise Frankfurt, Hamburg, Berlin, Köln ve Münih odaklı olarak dağılmaktadır. Yolcu ulaşımının yük taşınmasından çok daha öncelikli halde olması, demiryolu politikaları ekseninde Avrupa Birliği (AB) için aksayan bir yön olarak telakki edilmekte olup Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için kentler arası yolcu ulaşımında demiryolu türel dağılım oranı sadece %0,32'lerde iken Avrupa Birliği için ise bu değer %6,25'lerde dir.

Avrupa Komisyonu'nun 2001 Beyaz Kitap'ının ana hedeflerinden biride bu konudur. Fakat bütün bu değişimler ve projeksiyonlar dâhilinde, orta vadede Avrupa Birliği'nin (AB), yük taşımacılığında A.B.D.'nin %38'lik türel dağılım payına ulaşması mümkün görülmemektedir [3]. Kilometre başına maliyet, 4 milyon \$ olarak konmuş ve halen en pahalı Fransız yatırımları 10-15 milyon \$'lar seviyesinde gerçekleşiyor olup

bu, İtalya'nın 25 milyon \$/km ve Birleşik Krallık'ın 74 milyon \$/km (Kanal Tünel Demiryolu Ağı İlk Fazı) maliyetlerinin yanında oldukça uygundur. Tablo 1'de ülkelerin karşılaştırmalı yüksek hızlı demiryolları (YHD) yapım maliyetleri ortaya konmuştur. Şekil 1'de ise seyahat süreleri ile yüksek hızlı demiryolu (YHD) türel dağılım payı arasındaki ilişki gösterilmektedir [4].

Tablo 1. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) yapım maliyetleri [4]

YHD Yapım Maliyetleri (km başına milyon A.B.D. Doları)	
Fransa ve İspanya	10
Belçika ve Almanya	15
İtalya	25
Hollanda	53
Britanya	74
Tayvan	37
Güney Kore	37



Şekil 1: Seyahat Süresi ve Yüksek Hızlı Demiryolunun Türel Payı Arasındaki İlişki [5]

Bu noktada, kentteki istasyonuna erişen bir yüksek hızlı trenin taşıdığı yolcuların, istasyonun bulunduğu noktadan kentin içine aktarımları da önemli bir noktadır. Bunun için, kentteki yüksek hızlı demiryolu (YHD) garı ile entegre bir ulaştırma hizmetinin kurulumu zaruridir. Bu açıdan garın merkezi konumdaki bir odak olarak teşekkülü belirleyici olacaktır. Yüksek hızlı

demiryolu (YHD garları; büyük aktarma merkezi, alışveriş mekânı, dinlenme, gıda transferi ve benzeri işlevlerin doğrudan ya da dolaylı bir sağlayıcısı konumunda olmalıdır. İnsanlar söz konusu garlarda, hâlihazırdaki havalimanlarından da daha fazla zaman harcama eğilimlerini karşılayabilmelidirler. Bu anlamıyla garlar kente açılan ana kapılar olarak algılanabilir. Bunun devamı olarak, kimi yüksek hızlı demiryolu (YHD) garlarına kentler arası otobüs hatlarının da uğraması temin edilmelidir. Türkiye gibi ülkeler için kentler arası otobüs ve yüksek hızlı tren seferlerinin entegrasyonu önemli bir noktadır. Demiryolu istasyonlarının çevresinde oluşan banliyölerde olduğu gibi, önümüzdeki on yıllarda da yüksek hızlı demiryolu (YHD) garı çevresindeki şekillenme olgusu ile karşılaşılabılır. Bunun alacağı şekli bugünlerde alınacak kararlar tayin edecektir [5].

Materyal ve Yöntem

Aday Koridor Seçimine İlişkin Göstergeler

Mesafe ve seyahat süresi; yüksek hızlı demiryolu koridoru tanımlanmasında önemli kriterlerdendir. Seyahat süresi yaklaşık 4 saati aştığında, yüksek hızlı demiryollarının türel dağılımdaki payı %50'nin altına düşmektedir. Yüksek hızlı trenlerin rekabetçiliğini arttırmak için; seyahat süresinin 4 saatin altına düşürülmesi istenmektedir [6].

Örneğin 300 km/saat işletim hızına göre planlanmış bir yüksek hızlı tren; tarifeli işletimde 200 km/saat ile işletilmektedir. Bu kabule göre; bir yüksek hızlı tren için maksimum işletim mesafesi 800 km olarak öngörülebilir. Ayrıca; dakiklik ve hava şartlarına bağlı değişimlere karşı dayanıklılık başta olmak üzere yüksek hızlı demiryollarında gelecek dönemlerde sağlanacak olan teknolojik gelişmelerle 1000 km mesafelere kadar bu ulaştırma türü avantajlı hale gelecektir [6].

Yüksek hızlı trenlerin fizibilitesi; trafik hacimleri ile doğrudan ilintilidir. Örneğin; Mart 2011'de

Tokaido Shinkansen bir günde 341 tren işleterek 378.000 yolcu taşıdı. Ayrıca; diğer bazı Shinkansen hatları da taşıdığı yolcu bakımından dünyanın en büyük demiryolları arasındadır. Bu Shinkansen hatları, ilk açıldıklarında bu kadar yüksek rakamlarda yolcu taşımıyorlardı. Mevcut trafik hacmi; işleme başlanan günden buyana kademeli artışın bir sonucu olup ilk işletildiğinde bugüne kıyasla oldukça düşük rakamlarda taşıma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca; Tokaido Shinkansen ilk işleme başladığında 2 tren/saat işletim kapasitesine sahipken bugün bu oran saatte 10 trenin üzerine çıkmıştır. Bu; gelişmekte olan ülkelerde yüksek hızlı demiryolu kurulumu için, gelişmiş ülkelerin mevcutta sahip olduğu yüksek hızlı demiryolu hatlarının trafik hacimlerinden çok, bu ülkelerin ilk yüksek hızlı demiryolu kurulumuna geçiş süreçlerindeki trafik verilerinin yol gösterici olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca her bir güzergâhtaki toplam yolcu sayısının hesaplanması ya da tahmininde şehirlerarası OD trafik hacimlerinin bilinmesi gereklidir. Sonuç olarak; şehirlerarası trenlerin etkili olduğu yıllarda, yani Tokaido Shinkansen'in açılışından günümüze, taşınan yolcu sayısı 1962'den günümüze yıllık veri toplayan Bölgeler Arası Hareketlilik Araştırmalarından elde edilmiştir [7]. Bununla beraber; Bölgeler Arası Hareketlilik Araştırmaları, sadece Tokaido Shinkansen' in taşıdığı yolcu ile ilgili değil diğer - özellikle kısa mesafeli - bölgesel trenlerle ilgili de bilgi toplamaktadır. Buna örnek olarak, aynı şehir için içerisinde ya da komşu şehirlerarasında çalışan trenlerce taşınan yolcu sayısı ya da günlük ev-iş, ev-okul yolculukları ile ilgili bilgiler verilebilir. Bu nedenle; yeterli mesafedeki şehirlerarasında insanlar Shinkansen ya da ekspres trenleri gibi daha üst düzey trenleri tercih etmekte ve bu yolculuklar beraber, günlük olmayan tatil ve iş yolculuklarının verileri de analizlerde değerlendirilmiştir. 1962 ve 2009 yıllarındaki şehirlerarası hatlar ve bunların trafik hacimleri Tablo 2'de verilmiştir [7].

Tablo 2. 1962 ve 2009 Yıllarında Şehirler Arası Trenlerin Taşıdığı Yolcu Sayısı [7]

Hat	1962'de Yolcu	2009'da Yolcu
Tokyo-Aichi	5458	20.633
Tokyo-Osaka	6105	20.596
Osaka-Hiroshima	1707	4550
Osaka-Fukuoka	900	4313
Tokyo-Miyagi	2136	8755
Tokyo-Niigata	3452	9196

* tek yönde günlük yolcu sayısı

1962'deki rakamlara bakıldığında, Tokaido Shinkansen açılmadan önce, Tokyo-Aichi arasında yaklaşık 5500 ve Tokyo-Osaka arasında yaklaşık 6100 yolcu taşındığı görülmektedir. Bu rakamlar, günümüzde aynı hatta taşınan yolcu sayılarının 3'te 1'i, 4'te 1'i kadardır. Daha önce de belirtildiği üzere bu yerel hatlarda oluşan yüksek talep üzerine Tokaido Shinkansen inşa edilmiştir. Diğer bir deyişle, bu yerel hatlar bugüne kıyasla kabul küçük kabul edilebilecek yolculuk rakamlarıyla limitlerine ulaşmışlardır. Aynı zamanda; bir başka bakış açısıyla, o gün ki demiryolu sistemleri ve teknolojisi düşünüldüğünde, hem yük hem yolcu trenleri, o günün düşük taşıma kapasiteleri dâhilinde aynı hat üzerinde işletilebiliyorlardı. Ardından; hızlı ekonomik kalkınma dâhilinde artan trafik talebiyle Tokyo-Aichi kesiminde ve Tokyo-Osaka kesiminin her ikisinde de 2009 itibariyle günlük yolculuk sayısı 20.000'lere ulaşmıştır. 1962'de mevcut Tohoku, Sanyo ve Joetsu Shinkansen hatlarının yerine çalışan konvansiyonel hatlarda günlük 1000-3500 arası yolcu taşınmış olup bu rakam mevcut Tokaido Shinkansen'den önce işletilen konvansiyonel demiryolu hatlarınınkinden oldukça düşüktür [8]. Japonya, bu Shinkansen hatlarını, Tokaido Shinkansen'i inşa ettikten birkaç yıl sonra inşa etmiştir. Bu hatlardaki günlük yolculuk sayısı, bugün iki veya dört katı kadar artış göstermiştir. Gayri Safi Milli Hâsıla (GSMH) ile şehirlerarası günlük yolculuk sayısı arasındaki ilişkiye bakıldığında, Japonya'nın bu hatlardaki yolculuğun 5000-6000'nin üzerine çıktığında ve Gayri Safi Milli Hâsıla'sı (GSMH) 10.000-

15.000 A.B.D. Dolarına çıktığında Tokaido Shinkansen'i inşa etmeye başladığı görülmektedir [8].

Uygulama ve Başarımlar

Japonya'dakine benzer bir şekilde Fransa'da da stratejik, taktik ve politik unsurların kayda değer bir yer tuttuğu açık ve belirli bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) planına sahiptir. Fransa yüksek hızlı tren işleminde hız bazlı olarak 1954'te 243 km/saat, 1955'te 331 km/saat, 1988'de 408 km/saat, 1990'lı yıllarda ise 515 km/saat değerlerini bulan rekorlar kaydetmiş olup böylelikle hızlı demiryolunda bir marka teşekkül etmiştir. Fransa Nisan 2007 tarihinde de yeni bir rekor kaydetmiş olup 574,8 km/saat değerinde bir hıza ulaşmıştır. Ancak aynı derecedeki bir kaite düzeyini Fransa'nın yüksek hız altyapıları için söylemek mümkün değildir. Ağ uzunluğu bağlamında ise 2009 itibariyle 1872 km hat ile Japonya'dan sonra ikinci sırada yer alıyordu. Bu inşa hatlarının birçoğu henüz 1976 Demiryolu Master Planı'nda konulan 2000 yılı hedefleridir. Paris'i merkezine alan ve Fransa geneli ile bölge ülkelerine yaygınlık gösteren bir ağ geliştiren TGV (Train à grande vitesse_yüksek hızlı tren)olgusunun ortaya çıktığı görülmektedir. Bu bağlamda, 1000 km mesafelere kadar havayoluna göre daha rekabetçi bir ulaştırma türü olan yüksek hızlı demiryollarının ülkeye-bölgeye sağladığı entegrasyon-refah-konfor-sosyal dağılım-erişilebilirlik gibi imkanların ne denli olabileceğini Fransa örneği ve TGV üzerinden okumak mümkündür. Fransa yüksek hızlı demiryolu olan TVG, ülkenin Akdeniz kıyısına, güneydoğusuna, Atlantik kıyısına, kuzeyine ve doğu yakasına hizmet götürmekte olup buna göre LGV (lignes à grande vitesse _yüksek hızlı hatlar) Atlantique, LGV Mediterranee, LGV Nord gibi isimler almaktadır. Atlantik hattı Atlantik Okyanusu kıyısınca İspanya'ya kadar bağlanacaktır. Benzer şekilde kuzey hattı LGV

Nord adı altında Paris'ten başlayarak Brüksel üzerinden Belçika'ya ulaşmaktadır.

Manş Tüneli'nin yapılmasının akabinde Londra-Paris arası mesafenin kısalması ile birlikte ulaşılan zaman tasarrufu değerleri ise %50'leri bulmuştur [9].

Bunun daha da üzerindeki zaman tasarrufları ise Londra ile Brüksel arası yolculuklarda kaydedilmiştir. Ayrıca bunun yanı sıra yolculuk süresi tasarruflarının da kendi içerisinde değiştiği görülmektedir. Bu bağlamda Büyük Britanyada kıyı hattında ve Köln ile Frankfurt arasında aktarmalar da dâhilinde erişilen yolculuk süresi kazanımları ise %30 ile %60 arasındaki değerleri bulmaktadır. İspanya'nın Sevilya kentinde 1992 yılında düzenlenen küresel ölçekli ticaret fuarı ile ülkenin kültür merkezi ve en büyük kentlerinden birisi sayesinde İspanya'da yüksek hızlı demiryolu hattı kurulum süreci başlatılmıştır. Bu doğrultuda kurulum ilk aşamada başkent Madrid ile ülkenin diğer önemli kentleri Barselona, Valensiya ve Sevilya'yı ihtiva etti. Bu ülkede 1992 yılında başkent Madrid ile Endülüs bölgesinin büyük kenti Sevilya arasında açılan hat ilk yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı olmuştur. Bunun akabinde ise geçen yıllar içerisinde İspanya'da AVE şirketi dâhilinde bu ulaştırma türüne ciddi yatırımlar yspılmış olup kuzeybatı ekseninde Madrid-Vallodolid, güneydoğu aksında Madrid-Malaga ve doğu hat boyunca da Madrid-Barselona hatları tamamlanıp hizmete alınmıştır. Takibindeki birçok yatırımla İspanya yüksek hızlı demiryollarında (YHD) dünyanın lider ülkelerinden birisi olmuştur. Bundan da öte, gerçekleştirilmesi planlanan yatırımlar ile birlikte bu alanda dünyada zirvede yer alma şansına da sahip görünmektedir [10].

İspanyol şirketi Talgo'nun geliştirdiği tren setine göre değişebilen gabari malzemelerinin gelişimiyle birlikte Fransa'ya ve daha ötesine trafik yönelmesinin önü açılmış fakat bu sınırlı bir şekilde gerçekleşmiştir.

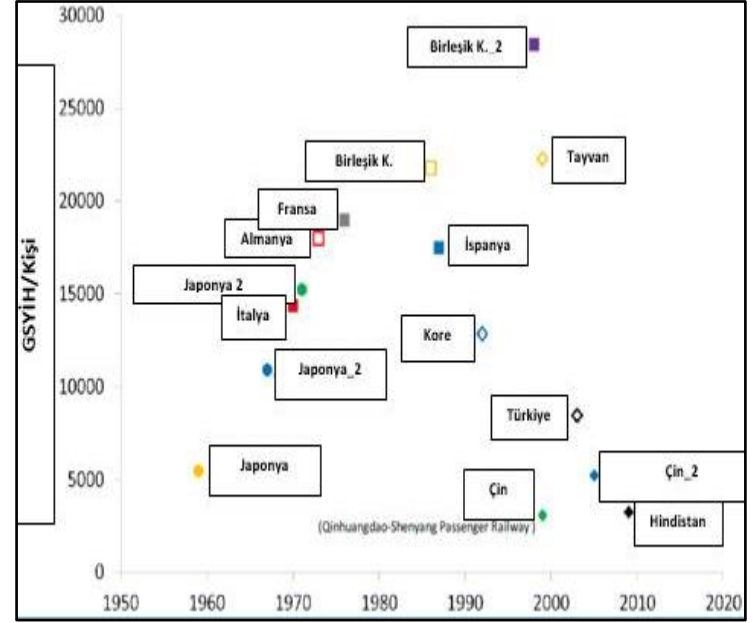
Kapsamlı bir demiryolu planı 1987’de hazırlanmış olup 1993, 1997 ve 2005’te takip eden planlar hazırlanmıştır. Standart gabarili yeni hatların inşası kararı alınmış ve bunun ilki 1992’de Madrid-Sevilya arasındaki 471 km’lik hatta uygulanmıştır (Wong vd., 2000). Avrupa’da Belçika ve Hollanda, PBKAL (Paris-Brüksel-Köln-Amsterdam-Londra yüksek hızlı demiryolu) hizmetlerini genişletici yatırımlar yapmakta olup, İsviçre, Portekiz ve İsveç’te aynı zamanda yeni yüksek hızlı demiryolları (YHD) Hatları planlamakta ve inşa etmektedir. Yüksek hızlı demiryolları, Avrupa Birliği kapsamında yolcu taşımacılığında yaklaşık %25’lik bir paya ulaşmış bulunmaktadır.

Açıkça da görülmektedir ki gerekli ekonomik kalkınma düzeyine ulaşıldığında yüksek hızlı demiryolu yatırımları başlamakta olup Avrupa, Tayvan ve Güney Kore’denbu tablo net olarak okunmaktadır. Ancak diğer taraftan ise Çin ve Japonya’da ise kalkınmanın daha erken düzeylerinde iken yüksek hızlı tren yatırımlarının başladığı anlaşılmaktadır.

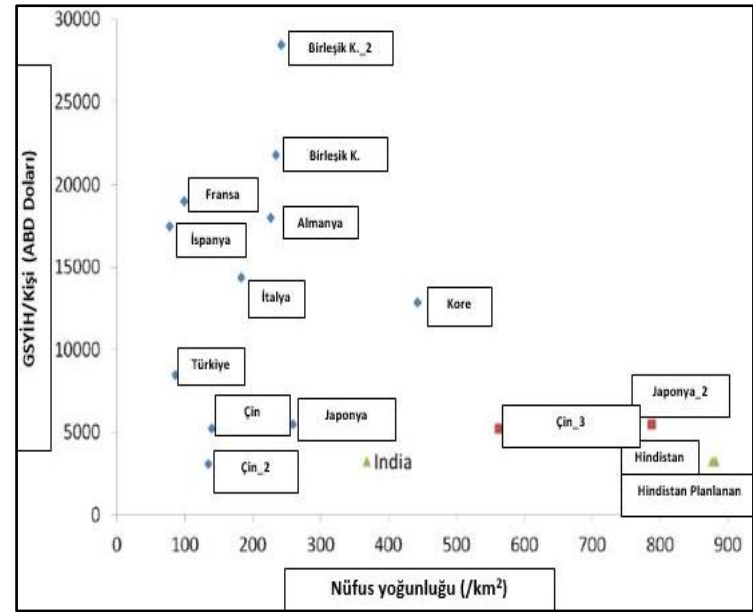
Buradan da açıkça anlaşılmaktadır ki koşullar elverdiği takdirde bu ulaştırma türündeki yatırımların başlangıcının nispeten daha öne alınması mümkün olabilmektedir. Muhtelif ülkelerden verilen örneklerle bakıldığında farklılaşan tablolarla karşılaşılmaktadır. Şekil 2’de ise bu bağlamda ülkelerin yüksek hızlı demiryolu (YHD) hat yatırımlarına başladıklarındaki gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH) düzeyleri gösterilmektedir [11].

Referans oluşturma amacıyla; 2007’de Fransa’da yürütülen uygun sayım verileri kullanılarak, ülke genelindeki 117 kişi/km²’lik nüfus yoğunluğuna karşın 181 kişi/km²’lik bir nüfus yoğunluğuna sahip olan LGV Sud-Est (Güneydoğu) Hattı’nın geçtiği kesimde hesaplama yapılmıştır. Japonya ve Çin’den farklı olarak; ülke genelindeki farklı bölgelerde ve yüksek hızlı demiryolu hatlarının geçtiği bölgeler boyunca, büyük oranda bir nüfus

yoğunluğu farklılaşması ile karşılaşılmamaktadır. Şekil 3’te ise nüfus yoğunluğu ve gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH) bazlı olarak karşılaştırmalar sunulmaktadır [12].



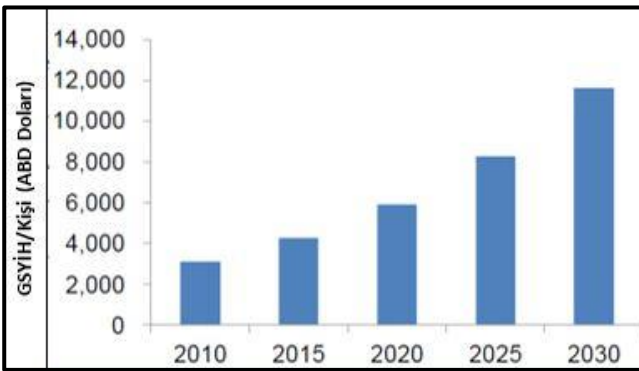
Şekil 2: Ülkelerin Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) Yatırımına Başladıkları Yıllardaki Gayri Safi Milli Hasılları (GSMH) [11]



Şekil 3: Yüksek Hızlı Demiryolu Yapımına Başlandı Yılı Nüfus Yoğunluğu-Gayri Safi Milli Hâsıla İlişkisi [12]

Hindistan; hızlı ekonomik gelişim gösteren ülkeler arasına girmiş olup ve büyüme eğiliminin

devam edeceği görülmektedir. Çeşitli araştırma enstitülerinden edinilen verilere göre Hindistan'ın 2030'a kadar yıllık ortalama %8'lik büyüme gerçekleştirmesi öngörülmektedir. Bu öngörü göz önüne alındığında ve Hindistan'ın milli geliri nüfusuna bölündüğünde, 2015 için 4.000 ABD Doları bir Gayri Safi Milli Hâsıla, 2020 için 5.000 ABD Doları ve 2030 için 10.000 ABD Doları bir Gayri Safi Milli Hâsıla hesaplanmaktadır. Şekil 4'te ise Hindistan'da yıllara göre gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH) durumu gösterilmektedir [13].

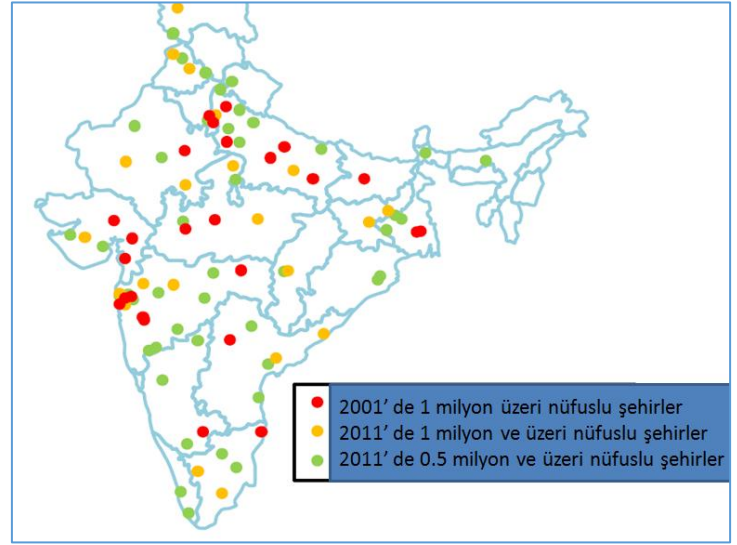


Şekil 4: Hindistan'a Yıllara Göre Tahmini Gayri Safi Milli Hâsıla [13]

Hindistan'ın 2011 itibariyle nüfus yoğunluğu 368 kişi/km² olup dünyanın en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ülkesi olduğu görülmektedir. Bu; Japonya'nın nüfus yoğunluğundan (2010' da 337 kişi/km² idi) daha yüksek bir değer olup Hindistan için nüfus yoğunluğunun en önemli kıstaslardan biri olduğu görülmektedir. Ayrıca Hindistan; Mumbai (Bombay)-Ahmedabad, Chennai-Bangalore gibi oldukça nüfus yoğun koridorlara sahiptir. Bu bölgeler; ülke genelindeki nüfus yoğunluğunun üzerinde bir yoğunluğa sahip olup bu değer Çin ve Japonya'nın yüksek hızlı demiryolu yapımına başladığı yıllardaki nüfus yoğunluğu ile örtüşmektedir.

Dolayısıyla Hindistan; gerek nüfus yoğunluğu ve gerekse de Gayri Safi Milli Hâsıla olarak yüksek hızlı demiryolu yapımına birkaç yıl içerisinde girmek için yeterli koşulları sağlamaktadır.

Ayrıca; Şekil 5'te de görüldüğü üzere Hindistan'ın birçok şehri 1 milyon ve üzerinde nüfuslara sahiptir. Hindistan' da milyonluk nüfusa sahip şehirlerin sayısı 2001'de 25 iken 2011'de 46'ya yükselmiştir. Bu sayı takip eden yıllarda daha da artmıştır. Dahası; Hindistan' da bazı bölgelerdeki şehirler zonlara ayrılmış olup yüksek hızlı demiryolu yapımına daha uygun hale gelmiştir [41].



Şekil 5: Hindistan'da Nüfusu 500.000 ve Üzerinde Olan Şehirlerin Dağılımı [14]

Sonuçlar ve Tartışma

Yüksek hızlı demiryolları (YHD) mevcut konvansiyonel demiryolu (KD) altyapısının iyileştirilmesi ile de yeni bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) altyapı tesisi ile de gerçekleştirilebilmektedir. 600 kilometre mesafelere kadar yüksek hızlı demiryolları (YHD) havayolu yolcu taşımacılığına (HYT) nazaran daha rekabetçi görünmektedir. Bu kapsamda söz konusu iki ulaştırma türünün birbiri ile rekabetçilik unsurunun yanı sıra birbirini tamamlayıcı özelliği de göz önüne alınmalıdır. Zira entegrist bir yaklaşım daha doğru olacaktır. Öyle ki bütünleyici bir anlayışın olmadığı yerlerde kimi hatlarda havayolu yolcu taşımacılığı (HYT) kimi yerlerde ise yüksek hızlı demiryolları (YHD) piyasadan çekilmektedir. Bu birçok zaman doğru sonucu vermeyebilmektedir.

Bunun yerine, Avrupa’da Charles De Gaulle (CDG) havalimanında da görüldüğü üzere yüksek hızlı demiryolları (YHD) havaalanını besleyici hizmet görebilir. Böylesine bir bütünleşmenin yakalandığı ortamlarda bölgesel ziyaretler için en uygun vasat yakalanmış olacaktır. Örneğin birbirine komşu her ile havaalanı yapmak doğru çözüm olmayacaktır. Bunun yerine bölgesel merkez olan ile havaalanı yapıp, bölgenin diğer kentlerini bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) ağı ile birbirine ve havaalanına bağlamak sureti ile elverişli çözüm yakalanabilir. Bu da bölgeyi ziyarete gelen bir turistin bütün bir bölgenin önemli yerlerine seyahat imkânını yakalamasını sağlayacaktır [15].

İfade edildiği üzere yüksek hızlı demiryolları, hat rehabilitesi yapılmış kimi konvansiyonel altyapılar üzerinde de işletilmektedir. Dolayısı ile takip eden yıllarda bu şekli ile işletimde olan bir yüksek hızlı trenin araç ve ekipman yenilemesinde, üzerinde işletim gerçekleştirilen iyileştirilmiş konvansiyonel altyapının varlığı ve gereksinimleri ile adaptasyon kapasitesi de göz önünde bulundurulmak durumunda kalmaktadır.

Hâlihazırda konvansiyonel hatları altyapısının iyileştirilmesi ile yüksek hızlı demiryolu (YHD) hat işletimine başlayan hatlar ise bu söz konusu toplam hatların %30’unu teşkil etmektedir. Bu bağlamda hat işletiminde yüksek hızlı demiryolu (YHD) hız alt limiti olarak 250 km/saat olarak alınır ve de münhasıran yüksek hızlı demiryolu (YHD) hat alyapısı esas alınır ise bu anlamdaki hat uzunluğu dünya genelinde 8500 km’den fazla görünmektedir [16].

Avrupa Birliği’nde demiryollarına, sürdürülebilirlik çerçevesinde son on yılda ciddi bir eğilme söz konusudur. Kıtada 2030 ve 2050 yılları projeksiyonlarında demiryollarının çok büyük türel dağılım oranlarına sahip olması beklenmektedir. Benzer bir eğilim, aynı periyotlarda aynı oranlara ulaşmamak kaydıyla,

ivmelenme olarak Türkiye’de de söz konusudur [17].

Türkiye; 2023 Vizyonu doğrultusunda hedefler ortaya koymuş olup bunların en önemlilerinden biri ‘Dünyanın en büyük 10 ekonomisi arasına girme’ hedefidir. Türkiye; sahip olduğu kültürel sosyal politik ve benzeri parametreler bakımından ekonomik olarak hem büyümek zorundadır ve hem de ekonomik büyümeyi gerçekleştirebilecek dinamizm ve potansiyele sahiptir [18]. Ülkemizde son yıllarda gerçekleştirilen yatırımlar, tartışılmakla beraber, genel anlamda ekonomik büyümeyi destekleyici işlev görmüştür. Dolayısıyla 2023 Vizyonu çerçevesinde ortaya konmuş olan ekonomik büyüme hedefleri, Ulaştırma Sektörü Hedefleriyle (dolayısıyla Şehirleşme ve Şehirlilik olgusuyla) doğrudan bir ilişki içerisindedir [19]. Ekonomik kalkınma; sorunlarını en aza indirmiş ve verimli-işler bir ulaştırma sisteminin kurulumundan bağımsız düşünülemez. Yolcu ve yükün en yüksek kapasite ve hizmet parametreleriyle taşınmasının sağlanması, belirli bir ekonomik ve teknik kalkınmışlık düzeyini gerektirirken, sorunlarını en az indirmiş, verimli, entegre, sürdürülebilir ve kapasiteli bir ulaştırma sektörü de, ekonomik kalkınmanın-hem nitel ve hem de nicel olarak- en üst düzeyde sağlanmasını beraberinde getirecektir [20].

Teşekkür

Bu çalışmada, bugüne kadarki mesai hayatımızda desteklerini esirgemeyen, birlikte çalıştığımız mesai arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Chen, C., & Hall, P. (2011). The impacts of high-speed trains on British economic geography: A study of the UK’s InterCity 125/225 and its effects. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 689–704. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.010
- [2] Abrahams, G. (2014). What ‘is’ territorial cohesion? What does it ‘do’?: Essentialist versus pragmatic approaches to using concepts. *European Planning*

- Studies, 22(10), 2134–2155. Doi: 10.1080/09654313.2013.819838
- [3] Brezzi, M., & Veneri, P. (2015). Assessing polycentric urban systems in the OECD: Country, regional and metropolitan perspectives. *European Planning Studies*, 23(6), 1128–1145. Doi: 10.1080/09654313.2014.905005
- [4] Arduin, J. P., & Ni, J. 2005. French TGV network development. *Japan Railway & Transport Review*. 40(3), 22-28.
- [5] Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2018, A Review in Term of Service Parameters On the Modal Choice sand Mass Transport, İzmir
- [6] Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., 2019, Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [7] Tapiador, F. J., & Martí-Henneberg, J. 2009. Potential economic impacts of technological and organizational innovations in intermodal access to major passenger terminals. In 18th International Symposium on Transport Economics and Policy. p. 409.
- [8] Takatsu, T. 2007. The history and future of high-speed railways in Japan. *Japan Railway & Transport Review*, 48, 6-21.
- [9] Sutherland, D., Araujo, S., Égert, B., & Kozluk, T. J. 2009. Infrastructure investment: links to growth and the role of public policies.
- [10] Liu, Y., Zhang, X., Zeng, J., Zhang, X., Zhang, P., & Zhong, Z. 2007. Technology of Sound Intensity Theory in High Speed Railway Car Noise Controlling. In International Conference on Transportation Engineering. pp. 1243-1248.
- [11] Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., 2018, Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM*
- [12] Spaven, D. 2006. Are High-speed railways good for the environment? *Transform Scotland, Edinburgh*, 3.
- [13] Anderson, J. E., & Van Wincoop, E. 2004. Trade costs. *Journal of Economic literature*, 42(3), 691-751.
- [14] Van Oort, F., McCann, P., 2009. Economic growth in cities and urban networks. In: Kochendörfer-Lucius, G., Pleskovic, B. (Eds.), *Spatial Disparities and Development*. The World Bank, Washington DC, pp. 91–108.
- [15] Vasanen, A. (2012). Functional polycentricity: Examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. *Urban Studies*, 49(16), 3627–3644. doi:10.1177/0042.098.012.447.000
- [16] Combes, P. P., Mayer, T., & Thisse, J. F. 2008. *Economic geography: The integration of regions and nations*. Princeton University Press.
- [17] T.C. Ulaştırma Bakanlığı. 2010. “Hedef 2023” 10. Ulaştırma Şurası, şura raporu, Ankara
- [18] Wong, W. G., Han, B. M., Ferreira, L., Zhu, X. N., & Sun, Q. X. 2002. Evaluation of management strategies for the operation of high-speed railways in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(3), 277-289.
- [19] T.C. 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012, Ankara
- [20] Kızıldaş, M. Ç., 2014, ‘Yüksek Hızlı Demiryolu Politikaları - 1’ <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=824> (01.11.2014)

Geosentetik Donatı Sayısı ve Konumunun Farklı Boyutlu Yol Numuneleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of Effect of Geosynthetic Reinforcement and Placement on Road Samples with Different Size

Elif Çiçek^{1*}

^{1*} Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, elif.cicek@hacettepe.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 30 Aralık 2019
Düzeltilme: 9 Mayıs 2020
Kabul: 17 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Yol, geosentetik, boyut, donatı sayısı, sonlu elemanlar yöntemi

ÖZET

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulan modeller için geosentetik donatının etkileri incelenmiştir. Plaxis 2D programı ile farklı model boyutlarında seçilen örnekler üzerinde yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiştir. 5 cm ile 960 cm arasında alınan farklı model genişlikleri için yol temel tabakası modellenerek gerilme deformasyon davranışı ve oturma miktarları değerlendirilmiştir. Modellerin kırılma davranışları ile modeller içine konulan tek ve çoklu donatı tabakası (1, 2 ve 3) kullanılma durumları için de değerlendirmeler yapılmıştır. Tek donatının numune içinde farklı bölgelere konulmasının etkileri de karşılaştırılmıştır. En iyi performansın üç adet donatı kullanılması durumunda görüldüğü belirtilebilmektedir. Donatısız durumda model boyutu pek etkili olmasa da donatılı modeller için numune ölçülerinin etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, oturma ve numunelerin kırılma modellerinde donatının etkili olduğu görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.667928

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 December 2019
Revised: 9 May 2020
Accepted: 17 May 2020

Keywords:

Road, geosynthetic, scale, number of reinforcement, finite element method

ABSTRACT

In this study, the effects of the geosynthetic reinforcement for the models created by finite element method have been investigated. The results of the analysis on samples selected with different model sizes were evaluated with Plaxis 2D program. For different model widths taken between 5 cm and 960 cm, the base layer of road was modeled and the stress deformation behavior and settlement amounts were evaluated. The failure behavior of the models and the single and multiple reinforcement layers (1, 2 and 3) used in the models were also evaluated. The effects of placing the single reinforcement in different regions in the sample were also compared. It can be stated that the best performance is seen in case of three reinforcements. Although the model size was not very effective in the case of the reinforcement, it was seen that the sample sizes were effective for the reinforced models. In addition, it was found that the reinforcement was effective in settlement and failure patterns the samples.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Elif Çiçek
✉ elif.cicek@hacettepe.edu.tr

Giriş

Bilindiği üzere yolların iyileştirilmesi için geosentetiklerin kullanılması son zamanlarda daha da popüler bir duruma gelmiştir [1, 2]. Geosentetiklerin kara yolu stabilitesi ve ömrünü arttırdığı bilirse dahi farklı donatı parametrelerinin etkileri henüz kesinlik kazanmamıştır. Diğer bir deyişle donatının yol modeli içinde hangi bölgeye yerleştirilmesi gerektiği ve donatı sayısının yolun taşıma kapasitesi veya gerilme-deformasyon davranışına nasıl etki edeceği ile ilgili kesinleşmiş ve kurallaşmış tasarım konfigürasyonu veya hesaplamalar bulunmamaktadır. Genellikle konulan donatının etkisinin, yol modelindeki konumuna ciddi ölçüde bağlı olduğu ve yol tabakalarının incelendiği boyutlar önemli olduğu bilinmektedir. Ancak literatürde yapılan birçok çalışmada kullanılan modeller farklı büyüklüktedir. Örneğin, birçok çalışmada küçük ölçekli numunelerde yol dolgu tabakası içine geosentetik donatı konulmuş ve donatı etkisi laboratuvarında araştırılmıştır [3, 4]. Fakat Elton ve Patawaran [5] gibi bazı araştırmacılar ise 76 cm genişliğindeki daha büyük ölçekli laboratuvar deneyleri ile geosentetik donatı etkisini incelemişlerdir. Hem nümerik hem de deneysel araştırmalarda oluşturulacak modelin boyutları büyük önem taşısa da fakat henüz tam anlamıyla açıklığa kavuşmamıştır. Bilindiği üzere, büyük boyutlu inşaat yapıları laboratuvarında küçük numunelerle temsil edilmektedir. Arazide ise küçük bir bölümde yapılan araştırmalarda bulunan sonuçlar yolun tamamı için uygulanmaya çalışılmaktadır. Diğer bir deyişle, trafik yükleri altındaki geosentetik ile donatılandırılmış bir yol için incelenmesi gereken ölçek tam anlamıyla bilinmediğinden ötürü, laboratuvar testlerinden elde edilen sonuçlar tek başına baz alınamamaktadır [6, 7]. Ayrıca, Nguyen vd. [4] laboratuvarında yapılan deneylerin ölçek etkisinden etkilenebileceğini ve yolların tasarımında önemli bir yeri olabileceğini vurgulamışlardır. Yine birçok çalışmada karayolu statik trafik yükü ile benzer şekilde modellenen temel plakası ile yapılan bazı çalışmalarda da ölçek etkisinin öneminden bahsedilmiştir [8, 9, 10]. Bu nedenle bu

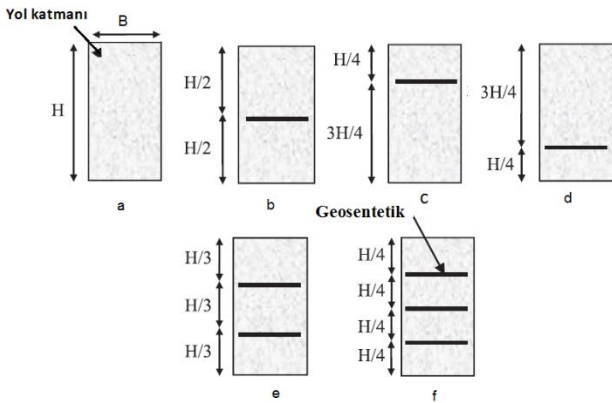
çalışmada farklı büyüklüklerdeki modeller incelenmiştir.

Yollar ile ilgili literatürdeki birçok çalışma laboratuvarında, arazide veya sonlu elemanlar metodu kullanan bir program vasıtasıyla yapılmıştır. Tam ölçekli yani gerçek kesitli deneyler malzeme temini ve işçilik açısından hem uzun zaman alır hem de maliyetleri yüksektir. Bu nedenle, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan bir programın kullanımı, bir yapı elemanının büyük yükler altında tepkisini tahmin etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [11-14]. Bu çalışmada da sonlu elemanlar hesabı yapan iki boyutlu Plaxis programı kullanılmıştır. Donatının tek veya çok sayıda kullanılmasının etkilerinin de önemli olabileceği bilinmektedir. Böylece bu çalışmada farklı konum ve sayıda kullanılma durumları da incelenerek değişik numune boyutlarındaki etkileri değerlendirilmiştir. Farklı parametrelerin numune oturmasına etkileri karşılaştırılmıştır.

Yöntem ve Malzeme

Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapan Plaxis 2D 2018 programı kullanılmıştır. Bir karayolunun temel tabakasının zemin örneğini taşıyan yol dolgusunun modellendiği numune analizleri yapılmıştır. Literatürde karşılaşılan analizlerde genellikle tekerlek izine 550 kPa değerinde basınç yükü tatbik edildiği görülmüştür [15, 16]. Gerek statik gerekse de dinamik analizlerde genellikle bu değer baz alınarak çalışmalar yürütülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada da bu değer göz önüne alınarak statik olarak yayılı yük şeklinde düşey yükleme yapılmıştır. Model genişlikleri (B) 5 cm, 15 cm, 30 cm, 60 cm 120 cm, 480 cm ve 960 cm ve yükseklikleri genişliğin iki katı alınmıştır. İlk analizlerde numuneler 550 kPa basıncı taşıyamadıklarından ötürü numunelerin dik durabilmesi için genellikle üç eksenli deneylerde de çoğunlukla uygulanan hücre basıncı olarak ifade edilen sabit bir yanal basınç uygulama değeri 100kPa olarak alınarak yol dolgu numuneleri için analizler yapılmıştır [17]. Literatürden seçilerek, zemin malzemesinin birim hacim ağırlığı, sürtünme açısı, Young modülü ve Poisson oranı değerleri sırasıyla 21 kN/m³, 45°, 5000 kPa ve 0.35 alınmıştır [18]. Zemin modeli çoğunlukla literatür çalışmalarında da kullanılan Mohr Coulomb modeli ile tanımlanmıştır.

Geosentetik malzemenin aksel rijitlik değeri 400 kN/m değerlerinde alınmıştır. Numune ağ (mesh) aralıkları sıkı olarak dikkate alınmıştır. Sonlu elemanlarda, örneğin B= 15 cm genişlikli numune modeli için eleman sayısı 324, düğüm noktası sayısı 2705, ortalama eleman boyutu $8,33 \times 10^{-3}$ m olarak alınmıştır. Literatür incelenerek [19, 20, 21] geometrik şekli ve sınır koşulları tanımlanan modellerde altta tamamen deformasyon sınırlandırılmış, üstte ise yükleme ve deformasyon tanımlanmıştır. Numune aralarına geosentetik malzemeler ise farklı donatı sayılarında tanımlanmıştır. Şekil 1’de görüldüğü üzere geosentetik donatı malzemesinin modellerin içerisine yerleştirilme düzenleri belirtilmektedir. Şekil 1.a’da donatısız yani geosentetik olmadan sadece model analizini, Şekil 1.b donatı modelin tam ortasına bir adet, Şekil 1.c ve Şekil 1.d donatının H/4 ve 3H/4 oranlarında modelin içine konması temsil edilmektedir. Şekil 1.e ve Şekil 1.f’de ise çoklu donatı tabakası sayılı yani 2 ve 3 adet donatının konulması durumlarını göstermektedir. Çalışmada yol numuneleri için donatıların bu farklı konumlara yerleştirilmesi durumundaki değişimler incelenmiş ve sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Donatı yerleşim planları; a) Donatısız, b) Numune ortasında tek adet, c) Numune H/4 oranındaki mesafede tek adet, d) Numune 3H/4 oranındaki mesafede tek adet, e) İki adet donatılı model, f. Üç adet donatılı model.

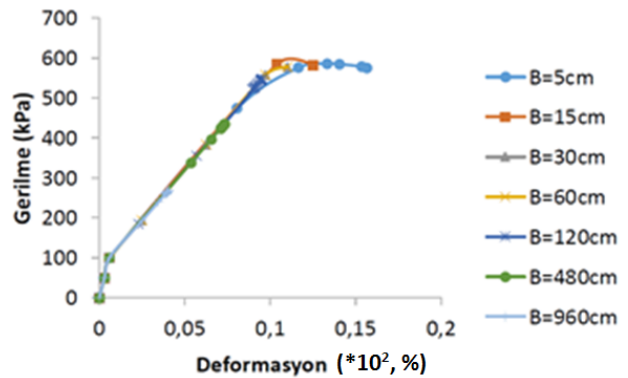
Figure 1. Reinforcement placement parameters a) Unreinforced, b) one layered in the middle, c) one layered in the H/4 ratio, d) one layered in 3H/4 ratio, e) Two layered reinforcements, f) Three layered reinforcements model.

Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

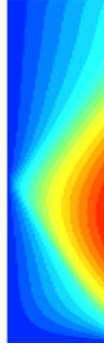
Sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan analiz sonuçları donatısız ve donatılı olmak üzere iki farklı kategoride belirtilmiştir. Ayrıca, donatılı modeller tek ve çok donatı tabakalı olmak üzere farklı bölümlerde incelenmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır.

1. Donatısız yol dolgu malzemesi örnekleri için yapılan analizler:

Beklendiği üzere, iyileştirilmemiş yol zemin örnekleri için numune boyutunun değişmesi, gerilme-deformasyon davranışında mühendislik açısından büyük ve önemli oranlarda değişimlerin olmadığını göstermiştir (Şekil 2a). Fakat 480 ve 960 cm genişlikli çok büyük boyutlu örneklerde yükün elastik davranış durumunda bile daha fazla taşıyamadığı ve diğer örneklere nazaran daha küçük yüklemelerde göçme meydana geldiği gözlenmiştir. Böylece, numuneler arasındaki boyut farkı çok büyüdüğünde (örneğin 100 kat) gerilme-deformasyon davranışında aynı sonuçlar alınmasının güçleştiği belirlenmiştir. Analizler sonucunda farklı numune boyutları için numune genişliği ile yatay ve dikey oturma değişimleri ile ilgili Şekil 3’te elde edilen grafikler değerlendirildiğinde sonuçlar arasında bir bağıntı olduğu görülmüştür. Numuneler genellikle orta bölgeye yakın bir kısımda Coulomb teorisine uyumlu bir şekilde, Maher ve Gray [22]’in bahsettiği gibi orta bölgeye yakın kısımdan kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 2b).



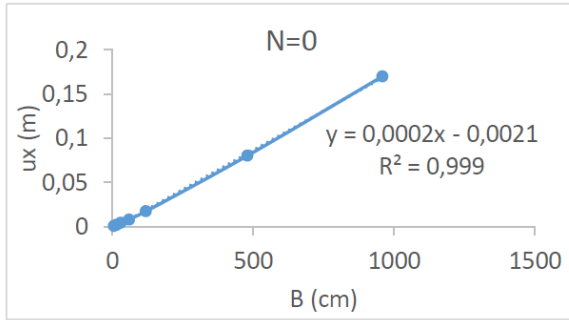
a



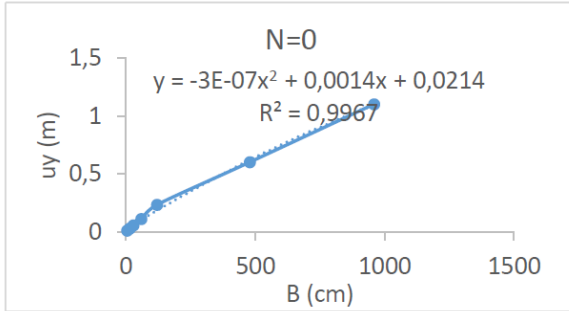
b

Şekil 2. Donatısız durum, a) Gerilme-deformasyon, b) Kırılma davranışı

Figure 2. Unreinforced model, a) Stress-strain, b) Failure behavior



a



b

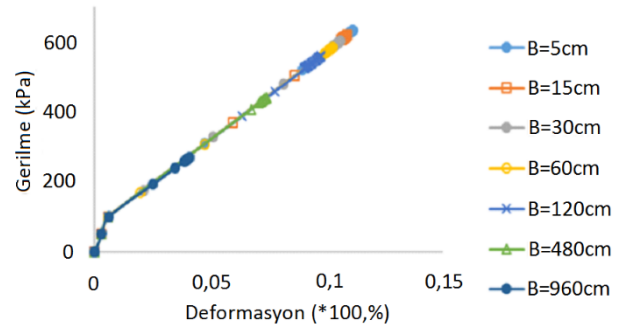
Şekil 3. Donatısız durum, a) yanal, b) düşey oturmalar

Figure 3. Unreinforced model, a) horizontal, b) vertical settlements

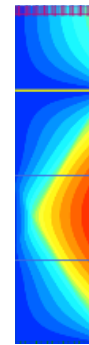
2. Donatılı yol dolgu malzemesi örnekleri için yapılan analizler:

a. Tek donatı tabakası kullanılmadığı durumundaki analizler:

Donatının model içerisine tek adet kullanıldığı analizler üç farklı bölümde incelenmiştir. Donatı model içine ortada (H/2), H/4 ve 3H/4 derinliklerinde konulduğundaki analiz sonuçları incelenmiştir. Diğer bir deyişle donatılar, Şekil 1.b, Şekil 1.c ve Şekil 1.d'deki gibi yerleştirilmişlerdir. Analiz sonuçları incelendiğinde ise donatının farklı konumlara yerleştirilmesinin sonuçları değiştirdiği gözlenmiştir. Üst tabakada, dolgu içine H/4 yüksekliğine bir adet geosentetik donatı konarak oluşturulan analizlerde, gerilme-deformasyon eğrisinin maksimum gerilme değerleri Şekil 4.a'da verilmiştir. Gerilme deformasyon eğrisinin eğimi aynı kalsa da farklı boyutlarda oluşabilecek maksimum gerilme miktarının değiştiği belirlenmiştir. Donatı yukarıda iken yol altındaki dolgu zemin daha yumuşak davranmış ve kırılma alt bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4b). Oturma miktarının ise boyut arttıkça büyüdüğü belirlenmiştir (Şekil 5).



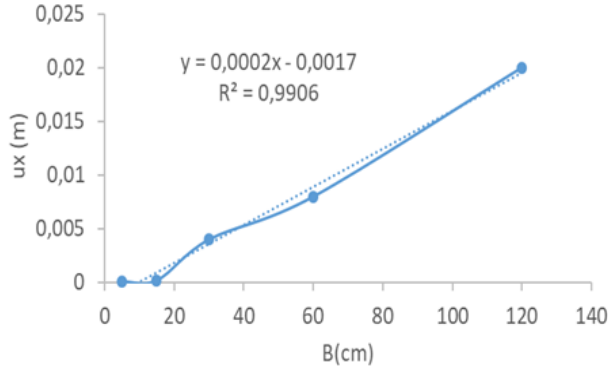
a



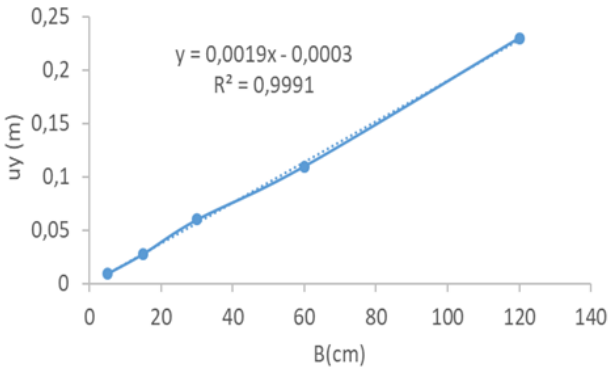
b

Şekil 4. Donatı H/4'te, a) gerilme-deformasyon, b) kırılma davranışı

Figure 4. Reinforcement in H/4, a) stress-strain, b) failure behavior



a



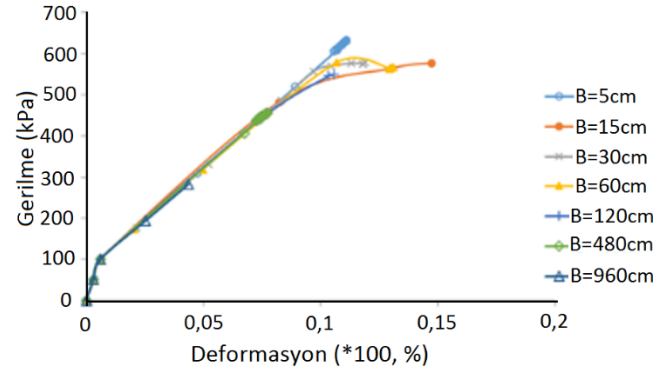
b

Şekil 5. Donatı H/4'te, a) yatay, b) düşey oturmalar

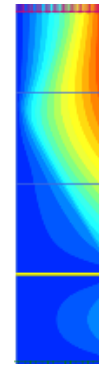
Figure 5. Reinforcement in H/4, a) horizontal, b) vertical settlements

Geosentetik, yol numunesinin alt bölümüne yani 3H/4 mesafesine konulduğunda ise deformasyon değerlerinin plastik bölgede farklılık gösterdiği ve oturma miktarlarının da değiştiği gözlenmiştir (Şekil 6). Özellikle maksimum gerilme oranlarında değişimler oluşabileceği, numunelerin genellikle kendi malzeme özelliklerinden ötürü kırıldığı ve donatının oturmadan ziyade kırılma davranışına daha fazla etki ettiği belirlenmiştir. Böylece, numune donatının üst bölgesinde kırılma göstermiştir (Şekil 7). 480 cm ve 960 cm gibi çok büyük örnekler ise daha küçük gerilmelerde kırılmıştır. Bilindiği üzere geosentetik donatıların daha aktif çalışmaları için bir miktar deformasyona ihtiyaç vardır, fakat bu durumda zemin kendi içinde göçebilmekte ve henüz geosentetik çalışmadan kırılmalar olabilmektedir [23]. Bu nedenle geosentetiğin kullanıldığı gerçek projelerde daha dikkatli olunması gerektiği belirtilebilmektedir.

Ayrıca, Şekil 7'den de görüldüğü üzere deformasyon değişimi benzer olsa da oturmalar arasında fark vardır.



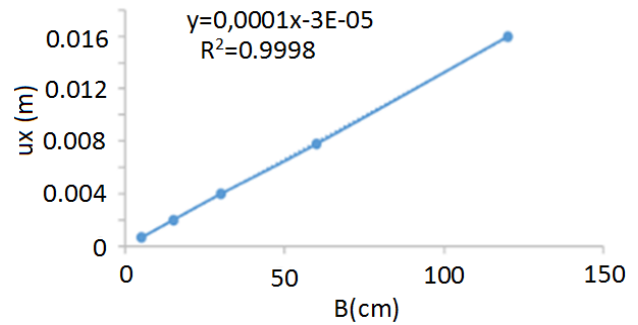
a



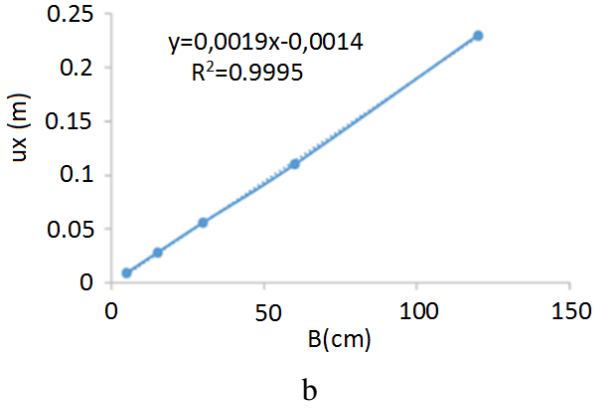
b

Şekil 6. Donatı 3H/4'te, a) gerilme-deformasyon, b) kırılma davranışı

Figure 6. Reinforcement in 3H/4, a) stress-strain, b) failure behavior



a



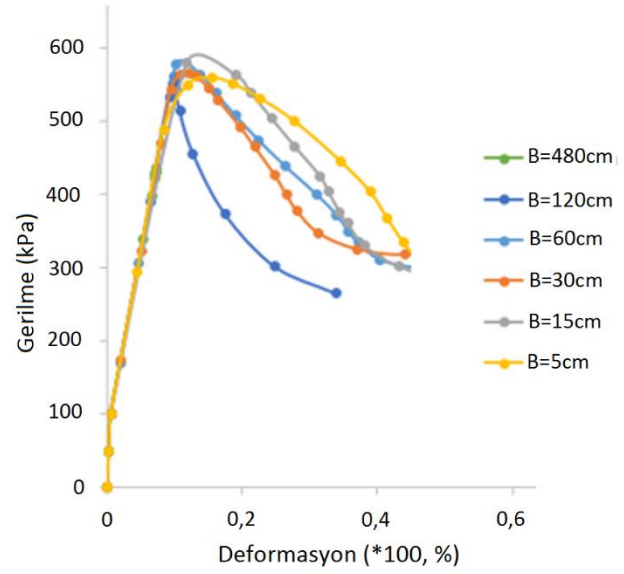
Şekil 7. Donatı 3H/4'te, a) yatay, b) düşey oturmalar

Figure 7. Reinforcement in 3H/4, a) horizontal, b) vertical settlements

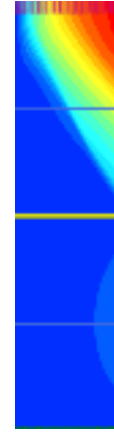
Farklı boyutlardaki modellerin tam ortasına geosentetik donatı yerleştirilmesi durumundaki analizlerinden elde edilen hesaplamalar Şekil 8'deki gibidir. Yükleme sonunda oturma değerlerinde büyük farklılıklar oluşabildiği gözlenmiştir. Sonuç olarak, 5 cm-120 cm genişlikli numune modellerinde tek donatı kullanıldığında 550 kPa değerindeki tekerlek yükü taşınabilirken, 480 cm ve daha büyük modellerde tek donatılı durumda da göçme meydana gelmiştir. Diğer bir deyişle tanımlanan malzeme özellikleri nedeniyle yük taşınamamış ve tek donatı konması da mevcut durumu iyileştirememiştir.

Gerilme-deformasyon eğrisinin elastik bölgesinde pek bir değişim olmazken plastik bölgede küçük boyutlu numunelerin daha fazla yük alabildiği, fakat numune boyutu arttıkça daha az gerilmeye maruz kaldığı gözlenmiştir. Modellerin yaptıkları oturmalar lineer davranışa yakın bir durum sergilemekte ve boyut arttıkça daha fazla oturmaların olduğunu söylenebilmektedir (Şekil 9). Model kırılıncaya kadar yüklendiğinde ise Şekil 8b'den de görüldüğü üzere tek donatılı numuneler donatının yukarı kısmından kırılma göstermektedir. Yani donatı numuneyi iki parçaya bölmüş ve donatı altındaki kısım daha az hasar görmüştür. Bu durum yol inşaatında önemli bir uygulama sağlayabileceğini göstermiştir. Çünkü zayıf zeminler üzerine inşa edilen yollar için alttaki zemin kazılarak yenisi konulduğunda ekonomik olarak daha fazla maddi ihtiyaca gerek duyulmaktadır. Fakat donatı kullanılması alttaki zeminin etkisinin azaltılmasını ve daha az dolgu

kullanılma fırsatını mümkün kılabileceğini göstermiştir.



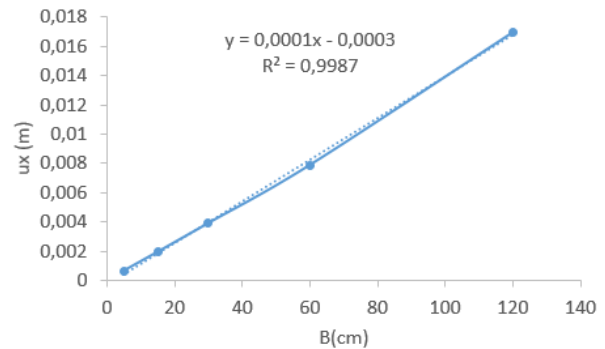
a



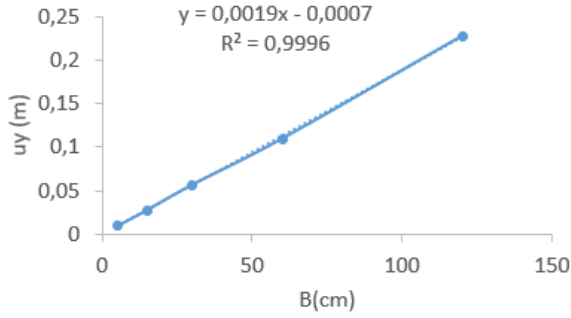
b

Şekil 8. Donatı numunenin ortasında, a) gerilme-deformasyon, b) kırılma davranışı

Figure 8. Reinforcement in the middle, a) stress-strain, b) failure behavior



a



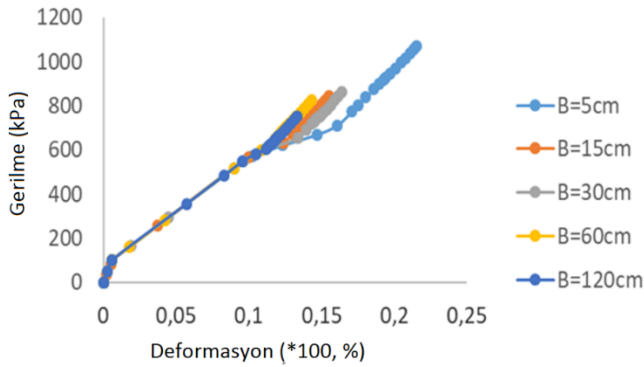
b

Şekil 9. Donatı numunenin ortasında, a) yatay, b) düşey oturmalar

Figure 9. Reinforcement in the middle, a) horizontal, b) vertical settlements

b. Çoklu donatı tabakası kullanılma durumundaki analizler:

Bu analiz grubunda donatı sayısının çoklu olma durumu (2 ve 3 adet) için analizler yürütülmüştür. Şekil 10 ve 11 incelendiğinde ölçek büyüdükçe donatının etkisi ve yanal deformasyonların aynı yükte değiştiği gözlenmiştir. İki donatılı modellerde plastik deformasyon durumunda model boyutunun etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Donatı sayısı üç olduğunda ise modelin alabileceği maksimum gerilme miktarında değişimlerin olduğu belirlenmiştir. Yine 480 cm gibi çok büyük boyutlarda ise donatılı olsa da modeller yükü güvenle taşıyamamıştır. Böylece, numune ile gerçek boyut arasındaki farkın çok arttığı ve gerçek koşulların modellenmesinde daha dikkatli olunması gerekliliği önem kazanmıştır. Şekil 12 ve Şekil 13 ise oturma davranışları ile ilgili bilgi vermektedir.



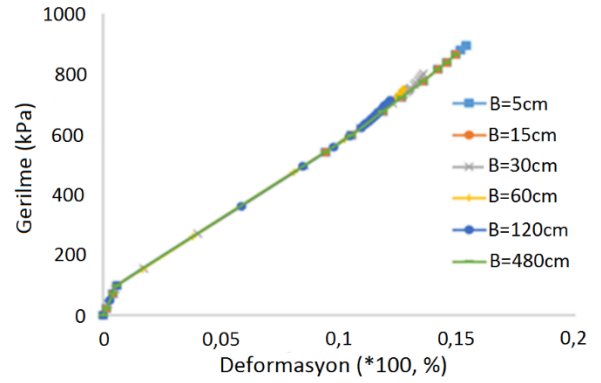
a



b

Şekil 10. İki donatılı model, a) gerilme-deformasyon, b) kırılma davranışı

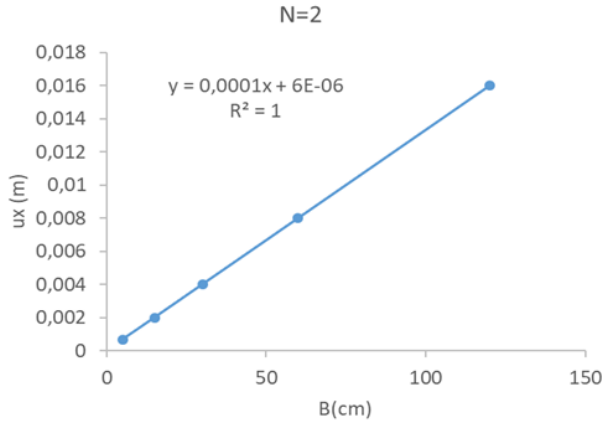
Figure 10. Two reinforced model, a) stress-strain, b) failure behavior



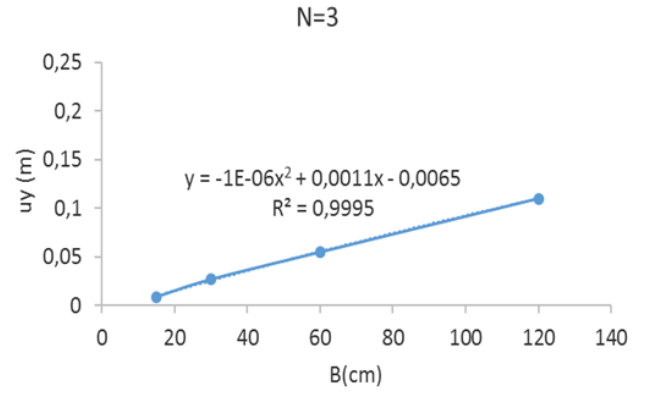
b

Şekil 11. Üç donatılı model, a) gerilme-deformasyon, b) kırılma davranışı

Figure 11. Three reinforced model, a) stress-strain, b) failure behavior

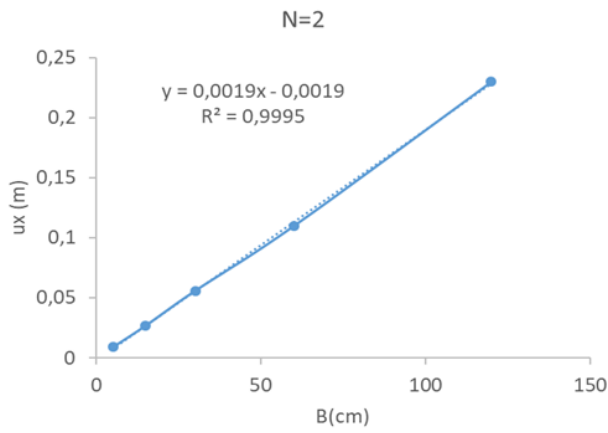


a



b

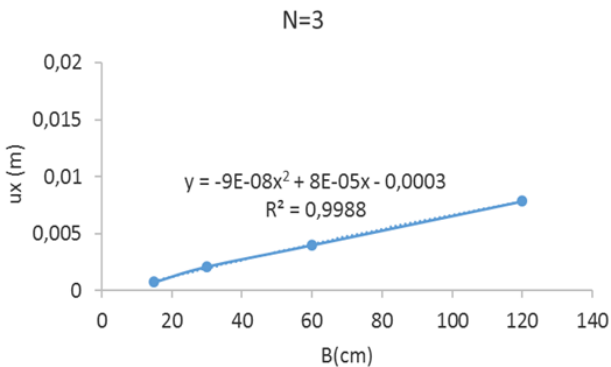
Şekil 13. Üç donatılı model, a) yatay, b) düşey oturmalar



b

Şekil 12. İki donatılı model, a) yatay, b) düşey oturmalar

Figure 12. Two reinforced model, a) horizontal, b) vertical settlements



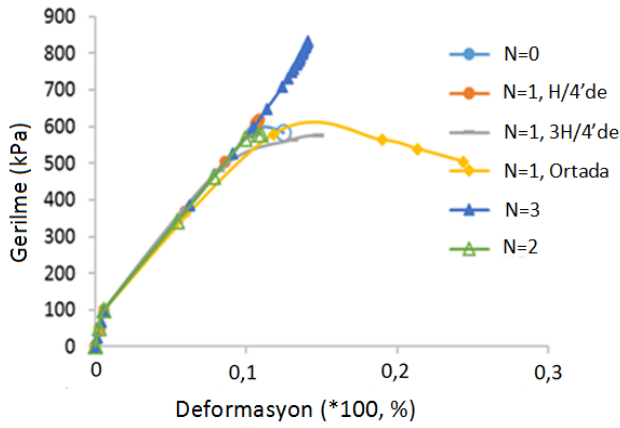
a

Figure 13. Three reinforced model, a) horizontal, b) vertical settlements

Donatısız ve donatılı sistemlerde farklı koşullara göre 550 kPa tekerlek yükü olarak düşünülen düşey yük için yatay ve düşey oturma davranışlarını özetleyen formüller Tablo 1'deki gibi verilmiştir. Yapılan çalışma ile donatının özellikle plastik bölgede daha etkin olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere geosentetik donatıların daha etkin çalışmaları için bir miktar oturma olmasına ihtiyaç duyulduğuna dair bilgiler literatürde yayınlanan çalışmalarda [23, 24, 25, 26] da görülmüştür ve bu çalışma ile de plastik bölgenin önemi belirtilebilmektedir. Farklı donatılı modeller değerlendirildiğinde ise örneğin B=15 cm için gerilme-deformasyon eğrisi Şekil 14'teki gibidir. Donatı sayısı arttıkça özellikle elastik davranış sonrası model daha farklı davranış sergilediği gözlenmiştir. Beklendiği üzere donatı sayısı arttıkça daha büyük yükler taşınabilmiştir, fakat her donatılı durumun etkisi birbirinden farklı olmuştur. Bilindiği üzere karayollarının uzun süreli davranışı önemlidir, fakat yolun fazla deformasyon alması yol güvenliği ve trafik akışı için pek istenen bir durum değildir. Bu nedenle yol yapım sırasında ön yüklemeler ile donatıların çalışır duruma getirilmesi ve yol inşası tamamlandıktan sonra daha güvenli ve daha az deformasyona müsaade eden güçlü yol davranışı gözlenmesi amaçlanabilmektedir.

Tablo 1. 550 kPa yük altında oturma davranışı
Table 1. Settlement behavior under 550 kPa loading value

Donatı sayısı (N)		Oturmalar	
		u_x (m)	u_y (m)
0		$0.0002B-0.0021$	$0.3E-07B^2+0.0014B+0.0214$
1	Üstte (H/4)	$0.0002B-0.0017$	$0.0019B-0.0003$
	Altta (4H/4)	$0.0001B-0.00003$	$0.0019B-0.0014$
	Ortada (H/2)	$0.0001B-0.0003$	$0.0019B-0.0007$
2		$0.0001B+0.000006$	$0.0019B-0.0019$
3		$-9E-08B^2+8E05B-0.003$	$-1E-06B^2+0.0011B-0.0065$



Şekil 14. $B=15\text{cm}$ için farklı donatı parametrelerinin karşılaştırılması

Figure 14. Comparison of different reinforcement parameters for $B=15\text{cm}$

Bilindiği üzere gerçek yol projelerinde sahada hızlı çözüm bulmak gerekebilecektir. Farklı donatı durumlarının değerlendirilmesi önemlidir ve alınan numuneler ile kararlar verilmektedir. Bu çalışma ile görülmüştür ki numunelerin boyutları önemli olabilmekte beraber donatının konumu da sadece taşıma kapasitesine değil yolun kırılma davranışına da büyük etki sağlamaktadır. Malzemelerin kalıcı deformasyonu olan plastik bölgede geosentetik donatının etki etmesi yol yapısının uzun süreli davranışında daha dayanıklı ve etkili davranmasını sağlaması beklenmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada literatürde büyük bir soru işareti olarak gündemde olan ölçek etkisinin donatısız ve

donatılı yol altı zeminindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Donatısız modeller incelendiğinde numune boyutunun gerilme-deformasyon davranışına etkisi mühendislik açısından ihmal edilebilir düzeyde olurken, oturma miktarını ise orantılı olarak değiştirdiği belirlenmiştir. Fakat numune boyutu arasındaki fark örneğin yaklaşık 100 kata kadar çıktığında davranışın değiştiği ve yüklemenin başarı ile yapılamadığı yanal deformasyonlardan ötürü numunelerin daha düşük düşey yüklerde kırıldığı gözlenmiştir. Geosentetik ile güçlendirilmiş numunelerde ise donatı sayısının numunenin statik yüklenme sonrası davranışına etkisinin önemli derecede olabileceği belirlenmiştir. Donatı sayısı arttıkça modellerdeki iyileştirme miktarı da artmaktadır. En fazla gerilme ve en az deformasyon donatı tabaka sayısı 3'e çıkarıldığında görülmüştür. Tek donatılı durumda ise donatının model yüzeyine daha yakın bir bölümü olan H/4 mesafesine konulması daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, model boyutları arttıkça yanal basınç etkisinden kaynaklı olduğu düşünülen sebeplerden ötürü daha farklı davrandığı ve donatılı durumda model boyutlarının etkili olabileceği belirlenmiştir. Gerilme-deformasyon davranışında elastik bölgede benzer sonuçlar alınsa dahi plastik bölgede farklılıklar olmuştur. Bu durum bu çalışmanın, geosentetiğin oturma miktarı arttıkça daha iyi çalıştığını gösteren literatür çalışmalarını ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, donatı kırılma davranışına da etki etmiş farklı donatılar etkisinde farklı bölgelerde kırılma çizgilerinin oluştuğu gözlenmiştir. Böylece,

donatılı yol numunesi testleri için boyut etkisinin özellikle plastik kısımda etkili olabileceği düşünülerek daha dikkatli olunmalıdır. Genellikle laboratuvar ve sonlu elemanlar benzer sonuçlar verse de bazı durumlarda farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle yapılan bu araştırmanın sadece nümerik olarak yapıldığı ve gelecekte deneysel çalışmalarla da incelenmesinin iyi olabileceği düşünülebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde kullanılan sonlu elemanlar programının temini için Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Programına (FHD-2017-13555) teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Saghebfar, M. (2014). Performance of Geotextile-reinforced Bases for Paved Roads, *PhD Dissertation*, Kansas State University, Manhattan, KS.
- [2] Zofka, A., Maliszewski, M., Maliszewska, D. (2017). Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, **18** (S1), 471–490.
- [3] Latha, G.M. and Murthy, V.S. (2007). Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, **25**, 23–32.
- [4] Nguyen, M., Blanc, J., Kerzrého, J. and Hornych, P. (2013). Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR. *Road Materials and Pavement Design*, **14**, S1, 287–308.
- [5] Elton, D. J., and Patawaran, M. A. B. (2004). Mechanically stabilized earth reinforcement tensile strength from tests of geotextile-reinforced soil. *Transportation Research Record* 1868, Transportation Research Board, Washington, DC, 81–88.
- [6] Watts, G.R.A., Blackman, D.I., Jenner, C.G. (2004). The performance of reinforced unpaved sub-bases subjected to trafficking. Third European Geosynthetics Conference, vol. 1. Munich, 261–266
- [7] Hufenus, R., Rueegger, R., Banjac, R., Mayorc, P., Springman, S.M., Brönnimann, R. (2006). Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade, *Geotextiles and Geomembranes*, **24**, 21–37.
- [8] Cerato, A.B. and Lutenegeger, A.J.(2007) Scale Effects of Shallow Foundation Bearing Capacity on Granular Material. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **133** (10): 1192–1202.
- [9] Zhu, F., Clark, J.I. and Phillips, R.(2001) Scale Effect of Strip and Circular Footings Resting on Dense Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **127**(7): 613–621.
- [10] Gu, F., Luo, X., Luo, R., Lytton, R. L., Hajj, E. Y., & Siddharthan, R. V. (2016) Numerical modeling of geogrid-reinforced flexible pavement and corresponding validation using large-scale tank test. *Construction and Building Materials*, **122**, 214–230.
- [11] Ramos-García, J.A., Castro, M. (2017). Linear viscoelastic behavior of asphalt pavements: 3D-FE response models. *Construction and Building Materials*, **136**, 414–425.
- [12] Djellali, A., Houam, A., Saghafi, B., Hamdane, A., Benghazi, Z. (2017). Static Analysis of Flexible Pavements over Expansive Soils. *International Journal of Civil Engineering*, **15**, 391–400.
- [13] Ahirwar, S.K. and Mandal, J.N. (2017). Finite Element Analysis of Flexible Pavement with Geogrids. *Procedia Engineering*, **189**, 411–416.
- [14] Zhang, J., Zhu, C., Li, X., Pei, J., Chen, J. (2017). Characterizing the three-stage rutting behavior of asphalt pavement with semi-rigid base by using UMAT in ABAQUS, *Construction and Building Materials*, **140**, 496–507.
- [15] Helwany, S., Dyer, J., Leidy, J. (1998). Finite-element analyses of flexible pavements. *Journal of Transportation Engineering*, **124**, 5:, 491–499.
- [16] Abu-Farsakh, M., Gub, J., Voyiadjis, G.Z. and Chen, Q. (2014). Mechanistic–empirical analysis of the results of finite element analysis on flexible pavement with geogrid base reinforcement, *International Journal of Pavement Engineering*, **15**, 9, 786–798.
- [17] Gray, D. H., and Al-Refeai, T. (1986). Behavior of fabric-versus fiber-reinforced sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, **112**, 8, 804–820. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410/(ASCE)0733-9410(1986)112:8 (804).
- [18] Ling, H.I. and Liu, H. (2003). Finite Element Studies of Asphalt Concrete Pavement Reinforced with Geogrid. *Journal of Engineering Mechanics*, **129**, 7, 801–811.
- [19] Wu, J. T., Pham, T. Q. & Adams, M. T. (2013). Composite Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Mass (No. FHWA-HRT-10-077), FHWA, Richmond, VA, USA.

- [20] Kandolkar, S. S., Mandal, J. N. (2014). Effect of reinforcement on stress–strain behavior of stone dust, *International Journal of Geotechnical Engineering*, **8**, 4, 383-395.
- [21] Wu, H., Huang, B., Shu, X., Zhao, S. (2015). Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester, *Geotextiles and Geomembranes*, **43**, 462-469.
- [22] Maher M., & Gray D. H. (1990). Static Response of Sands Reinforced with Randomly Distributed Fibers, *Journal of Geotechnical Engineering*, **116**, 11, 1661–1677. doi:10.1061/(ASCE) 0733-9410(1990)116:11(1661).
- [23] Chen, Q. (2007). An experimental study on characteristics and behavior of reinforced soil foundation, *PhD dissertation*, Louisiana State University, Baton Rouge, USA.
- [24] Sun, X., Han, J., Fei, J., Guo, J., Zhang, W. (2020) Geosynthetic-stabilized flexible pavements: Solution derivation and mechanistic-empirical analysis, *Geotextiles and Geomembranes*, **48**, 4, 468-478.
- [25] Imjai, T., Pilakoutas, K., Guadagnini, M. (2019) Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials, *Geotextiles and Geomembranes*, **47**, 2, 217-229.
- [26] Al-Hedad, A. Hadi, M.N.S. (2019) Road Materials and Pavement Design, Effect of geogrid reinforcement on the flexural behaviour of concrete pavements, *Road Materials and Pavement Design*, **20**, 5, 1005-1025.

Coğrafik Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi

The Effect of Site-Specific Design Spectra for Geographical Location on Reinforced-Concrete Structure Performance

İbrahim Baran Karaşin^{1*}, Ercan Işık², Alper Demirci³, M. Cihan Aydın⁴,

¹Arş. Gör. Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, barankarasin@gmail.com

²Doç. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, eisik@beu.edu.tr

³Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü alperdemirci@comu.edu.tr

⁴Prof. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, mcaydin@beu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 30 Ocak 2020

Düzeltilme: 27 Mayıs 2020

Kabul: 3 Haziran 2020

Anahtar kelimeler:

Deprem, tasarım spektrum, yer hareket düzeyi, coğrafik konum, betonarme, adaptif itme analizi

ÖZET

Bir bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını ve risklerini belirlemede kullanılan önemli parametrelerdir. Yapılar ile ilgili analizlerde o bölgenin depremselliği, spektrum eğrileri ile ifade edilebilmektedir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile noktaya özel spektrum eğrileri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki yedi farklı coğrafik bölgeden birer il seçilerek coğrafik konumun hem deprem parametrelerine hem de yapı performans hesaplamalarını hangi düzeyde etkilediği ortaya konmaya çalışılmıştır. Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum İstanbul, İzmir ve Samsun illeri için 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde DD-2 olarak belirtilen yer hareket düzeyi ile yerel zemin sınıfı ZE olarak dikkate alınmıştır. Her il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı ve yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma ile farklı geometrik konumlarda bulunan fakat aynı zemin özellikleri ve yer hareketi olmasına rağmen deprem parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Coğrafik konumun yapı performans hesaplamalarına etkisi ortaya koymak adına tüm illerde aynı yapısal özelliklere sahip yedi katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. Seçilen örnek betonarme yapı için her il için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapı analizinde zemin özelliklerinin dikkate alındığı statik adaptif itme analiz kullanılmıştır. Elde edilen tüm sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Coğrafik konum değişikliği hem deprem parametrelerini hem de yapısal analiz sonuçları doğrudan etkilemektedir. Çalışma, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin sahaya özel deprem parametrelerinin bir kazanım olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Herhangi bir noktada yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler aynı olsa bile bölgenin depremsellik öğelerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Doi: 10.24012/dumf.682377

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 January 2020

Revised: 27 May 2020

Accepted: 3 June 2020

Keywords:

Earthquake, design spectra, ground motion level, geographical location, Reinforced-concrete, adaptive pushover analysis

ABSTRACT

Seismicity, local soil conditions and structural properties of a region are important parameters in order to determinate behavior of structures under earthquake impacts and seismic risks. The seismicity of that region can be expressed with spectrum curves in the analysis of the structures. Specific spectrum curves of specific points have begun to be used with " Turkey Seismic Building Regulations " which entered into force in 2019. In this study, the effect of geographical regions on both earthquake parameters and structure performance calculations was investigated by selecting one district in each different geographic region in Turkey. The probability of exceedance in 50 years 10% (repetition period of 475 years) for provinces of Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir and Samsun and ground motion level DD-2 and the local soil class ZE as specified in the Turkey Building Earthquake Regulation are considered. Short period map spectral acceleration coefficient, maximum ground acceleration, maximum ground velocity, local ground effect coefficients, design spectral acceleration coefficients, horizontal and vertical elastic spectrum curve were calculated for each province. In this study, although the same ground characteristics and ground motion are found in different geographical locations, changes in earthquake parameters were investigated. A seven-storey reinforced concrete structure with the same structural features was selected in all provinces in order to reveal the effect of geographic location on building performance calculations. The analysis of the selected sample reinforced concrete structure was carried out for each province. In the structural analysis, static adaptive pushover analysis was used for soil properties were taken into consideration. All obtained results were compared. Geographical location change affects both earthquake parameters and structural analysis results directly. This study reveals, it is a gain that using site-specific seismic parameters according to updated Turkey Seismic Design Code. Even if local soil conditions and structural characteristics are the same at any point, seismicity elements of the region should be taken into consideration.

* Sorumlu yazar / Correspondence

İbrahim Baran KARAŞIN

✉ barankarasin@gmail.com

Giriş

Deprem etkisindeki yapıların tasarım ve değerlendirmesinde bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörlerin her birinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi hem deprem ile ilgili parametreleri hem de yapısal analiz sonuçlarını etkileyecektir. Herhangi bir bölgede oluşan depremlerin özellikleri, bölge içerisinde yer alan fay/fay grupları ve bunların özellikleri, yapıların fay/fay gruplarına olan uzaklıkları, bölgenin deprem geçmişi gibi veriler, o bölgenin depremselliğini belirlemede kullanılmaktadır. Yapılaşma planlanan bölgede bulunan zeminlerin cins ve tabaka kalınlıkları, yer altı suyunun varlığı ve seviyesi ile zemin taşıma gücü özellikleri genel olarak yerel zemin koşulları olarak ifade edilmektedir. Yapısal özellikler olarak taşıyıcı sistem türü, taşıyıcı sistem elemanlarının boyut ve özellikleri ile ifade edilebilmektedir. Bu parametrelerin yapısal hesaplamalarda bir anlamda süperpoze edilmesi ile yapıların olası depremler altındaki tasarım ve dayanımları daha bilimsel ve gerçekçi olacaktır. Bunun sonucu olarak oluşabilecek hasar dereceleri daha aşağı düzeylere çekilebilecektir. Depremler sonucu oluşan hasarların varlığı ve oluşma sebepleri bu parametrelerin birlikte kullanılmasının zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

Deprem – zemin – yapı etkileşiminin doğru olarak belirlenmesi ve yapısal hesaplamalara yansıtılması, depreme dayanıklı yapı tasarımına anlam katmaktadır. Yerel zemin koşulları ve bölgenin depremsellik öğelerinin birleşmesi genel olarak tasarım spektrumları ile ifade edilmektedir. Yerel zemin koşulları tasarım spektrumlarını önemli bir şekilde değiştirmektedir. Değişen spektrum eğrileri yapılarıdaki yer değiştirme istemlerini de değiştirmektedir. Daha yüksek değerlerde yer değiştirme talepleri karşılanmayan yapılarda hasar tahminlerinin ve bina performanslarının gerçek değerlerden uzaklaşacağı açıktır [1-8]. Bu parametrelerin birleşmesi ve analizlerde kullanılması yapı ile ilgili deprem yönetmeliklerinde de kendine yer bulmuştur.

Yapı hesaplamalarında kullanılacak olan deprem yönetmelikleri, zaman içerisinde ortaya çıkan ihtiyaç ve yeni teknolojilerden dolayı yenilenebilmekte veya güncellenebilmektedir.

Her yeni yönetmelik yapı tasarım ve değerlendirilmesi için bir kazanımdır. Türkiye’de de 2007 yılından itibaren yürürlükte olan Deprem Yönetmeliği 2018 yılında güncellenmiş ve yenilenmiştir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile deprem etkilerinin belirlenmesi adına Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılmaya başlanmıştır [9]. Bu çalışma kapsamında bu uygulama kullanılmıştır. Uygulama ile herhangi bir coğrafik nokta için yerel zemin koşulları ve deprem yer hareket düzeyi seçilerek deprem parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu parametreler depreme dayanıklı yapı tasarımında doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Elde edilecek farklı deprem parametre değerleri yapısal analizleri doğrudan etkileyecektir.

Çalışmada, yapılaşma planlanan coğrafi konum değişken olarak seçilmiştir. Diğer tüm parametreler sabit olarak alınmıştır. Çalışma, aynı yerel zemin koşulları, aynı deprem yer hareket düzeyi ve aynı yapısal özelliklere sahip betonarme bir yapı için farklı coğrafi konumların etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye’de yedi coğrafi bölgeyi temsil etmek adına her bir bölgeden birer il seçilmiştir. Bölgelerinde, diğer illere göre daha yoğun nüfusa sahip olduklarından dolayı Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Samsun örnek iller olarak seçilmiştir. Her bir il için rastgele belirlenen coğrafi konum veri girişi ile İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak deprem parametrelerinin sayısal değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmaya konu olan tüm iller için yapılan seçimlerde zemin sınıfı ZE olarak ve deprem yer hareketi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi DD-2 dikkate alınmıştır. Bu iki değer tüm iller için aynı şekilde veri olarak girilmiştir. Çalışma ile her bir il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrileri için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir coğrafi konum için elde edilen yatay tasarım spektrum eğrisi yardımı ile yedi katlı betonarme bir yapı tasarlanarak her bir il için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, yazılım programı içerisinde yer alan statik adaptif itme

analizi kullanılmıştır. Analizler sonucu taban kesme kuvveti, yer değiştirme, rijitlik ve hasar durumları için yer değiştirme değerleri her bir il için hesaplanmıştır. Çalışma ile farklı coğrafi konumlar için deprem ve yapısal analiz sonuç parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Yapıların depreme dayanıklı tasarımı noktasında yerel zemin koşulları ve yapısal özelliklerinin yanı sıra depremsellik öğelerinin ve bunların etkilerinin bilinmesi ile mühendislik işlemleri anlam kazanacaktır. Çalışma ile yapı – zemin – deprem üçlemesinin önemi bir kez daha ortaya konulmaktadır.

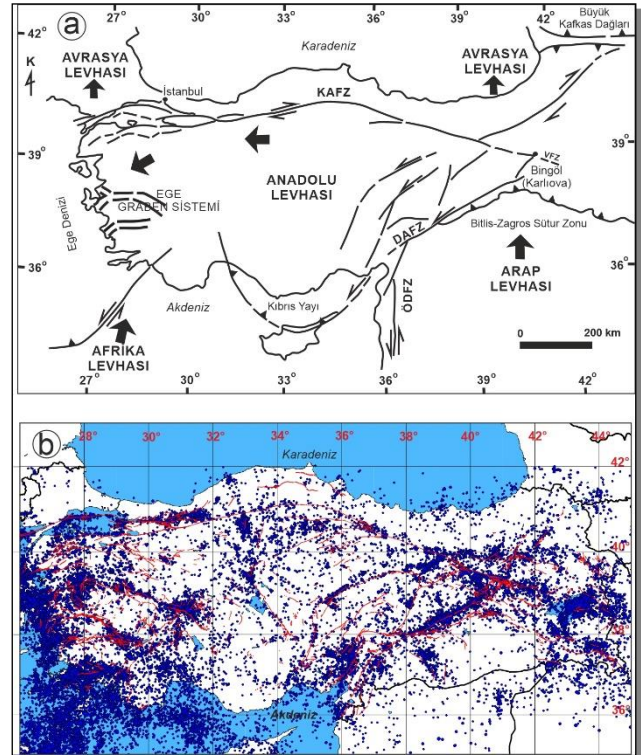
Çalışmada öncelikle Türkiye'nin tektonik yapısı ve deprem tehlikesi hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde coğrafi konum değişiminin deprem parametrelerine etkisi incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise her bir coğrafi konuma göre elde edilen yatay tasarım spektrum eğrileri ile örnek olarak seçilen betonarme yapı analiz sonuç parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak öneriler yapılmıştır.

Türkiye'nin Tektonik Yapısı

Türkiye, coğrafi konumu ve Avrasya-Arap ve Avrasya-Afrika plakalarının etkileşimi nedeniyle çok sayıda depreme maruz kalmaktadır. Bu etkileşim, Türkiye ve çevresinde önemli sismik kaynakların gelişmesinin ana nedenidir. Anadolu plakası, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgede batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket kuzeye doğru hareket eden Arap Plakası ile kuzeydoğu yönünde nispeten daha yavaş hareket eden Avrasya Plakası arasındaki çarpışmanın bir sonucudur. KAFZ, Karlıova Üçlü Birleşim Noktasından başlayıp, Karadeniz kıyı şeridinin yaklaşık 100 km güneyinde Karadeniz'e paralel olarak konumlanmış, yaklaşık 2000km uzunluğundadır. KAFZ'nun batıya doğru devam etmesi, kuzey ve güney sınırlarında horst yapısı ile Armutlu Yarımadası'na ulaşmadan önce iki kısma ayrılır ve Marmara Denizi'ne ulaşır. Ayrıca üçüncü bir kısmı da Bursa ovasından geçer. Bu kısmın devamı kuzeydeki Saroz Körfezi'nde ve güneydeki Biga Yarımadası'nda gözlenmektedir. KAFZ, tarihsel ve aletsel dönemlerde önemli depremlere maruz kalmıştır.

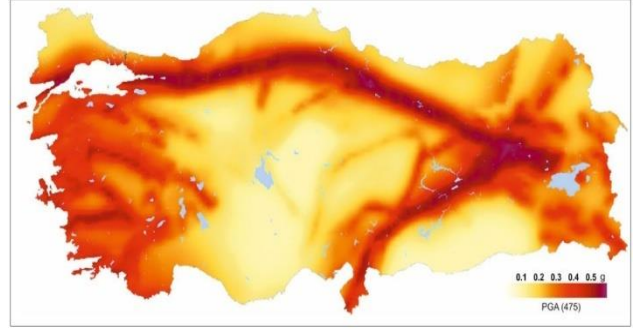
Benzer deformasyon özelliklerine ve sismisiteye sahip olmasına rağmen, DAFZ, KAFZ kadar iyi bilinmemektedir. DAFZ, yaklaşık 550km

uzunluğunda olup Karlıova'da KAFZ ile birleşmektedir (Şekil 1a). Bitlis Kenet Kuşağı, Güneydoğu Türkiye'den İran'daki Zağros dağlarına kadar uzanan, kıta-kıta ve kıta-okyanus çarpışma sınırı olarak tarif edilecek bir komplekstir. Karlıova üçlü birleşim noktasının doğusunda kalan K-G yönlü sıkışma tektonik rejimi ile karakterize edilmektedir (Şekil 1a) [10,11]. Bunların yanı sıra, ülkemizdeki önemli tektonik yapılardan biri Batı Anadolu Graben Sistemi'dir. Ege graben sistemi olarak da adlandırılan bu bölgede, K-G yönlü genişleme oranı yılda 30-40 mm civarındadır [12,13]. Bölgede, neredeyse tüm graben sınır fayları derinlikle düzleşen listrik faylardır [14], dünyanın en sismik olarak aktif bölgelerinden biri olan Ege Graben Sisteminin, kuruluşundan bu yana %50 kuzey-güney genişlemesine maruz kaldığını belirtmektedir. Diğer bir deyişle, Ege graben sisteminin başlangıcından bu yana Ege'deki kuzey-güney mekânsal mesafesi iki katına çıkmıştır (Şekil 1a). Sonuç olarak, böylesine yoğun ve karmaşık tektonik unsurlara sahip olan Türkiye, bugüne kadar birçok depreme maruz kalmıştır (Şekil 1b).



Şekil 1. a) Türkiye'deki başlıca neo-tektonik yapılar (Bozkurt, 2001), b) Detaylı aktif faylar [15] ve Ocak 2000'den sonraki depremler ($M > 3$) [16]

Türkiye’de 01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile güncellenen Türkiye Deprem Tehlike Haritası Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu harita, 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olması durumunda ulaşılması ve aşılması beklenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerini göstermektedir. Sarı renge sahip PGA konturları, nispeten düşük bir tehlike bölgesi (0.1 g’ın altında), orta ila tehlikeli bölgeler (0.1g ile 0.25g aralığında) sarıdan turuncu renklere kadar tanımlanır ve yüksek riskli bölgeler (0.3g’den fazla) kırmızı renk ile temsil edilmektedir.

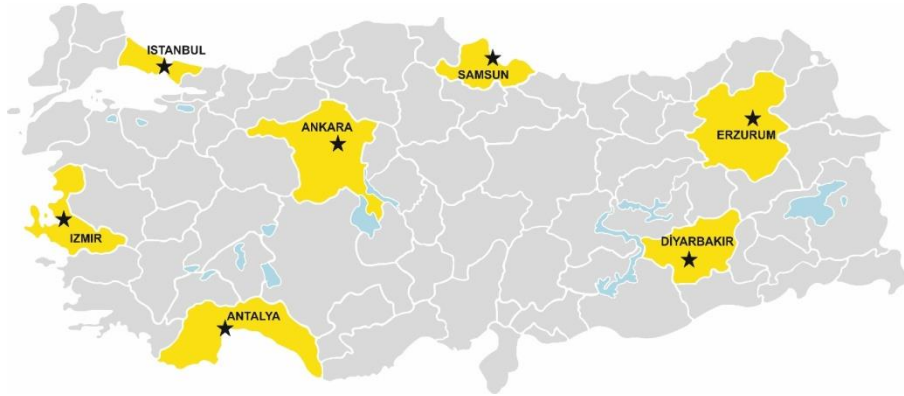


Şekil 2. Türkiye deprem tehlike haritası [17]

Deprem Parametrelerinin Karşılaştırılması

Deprem etkileri altında yapılacak yapılarda etkili birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden biri bölgenin depremsellik öğeleridir. Her bir bölge, hatta her bir nokta için depremsellik özellikleri değişken olabilmektedir.

Bu çalışma, bu değişikliklerin önemini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda her bir coğrafi bölgeden farklı yerleşim birimleri seçilmiştir. Çalışmada dikkate alınan coğrafi bölgeler ve iller Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada dikkate alınan farklı geometrik konumlar

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY-2018), dört farklı düzeyde deprem yer hareket düzeyi belirlenmiştir (Tablo 1). Çalışma

kapsamında tüm iller için DD-2 deprem yer hareket düzeyi dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY-2018)

Deprem Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu	Aşılma Olasılığı (50 yılda)	Tanımı
DD-1	2475	0.02	En büyük deprem yer hareketi
DD-2	475	0.1	Standart tasarım deprem yer hareketi
DD-3	72	0.5	Sık deprem yer hareketi
DD-4	43	0.68	Servis deprem hareketi

TBDY-2018 ile değişen zemin sınıfları ve bu zemin sınıflarına ait özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında

karşılaştırmaların yapılabilmesi adına yerel zemin sınıfı olarak tüm coğrafik konumlar için ZE sınıfı dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Yerel zemin sınıfları (TBDY-2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Çalışma kapsamında Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak her bir coğrafik bölgede yer alan her bir il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV), yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1), tasarım spektral ivme katsayıları (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{Ds}) ile 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}) ve yatay ile düşey

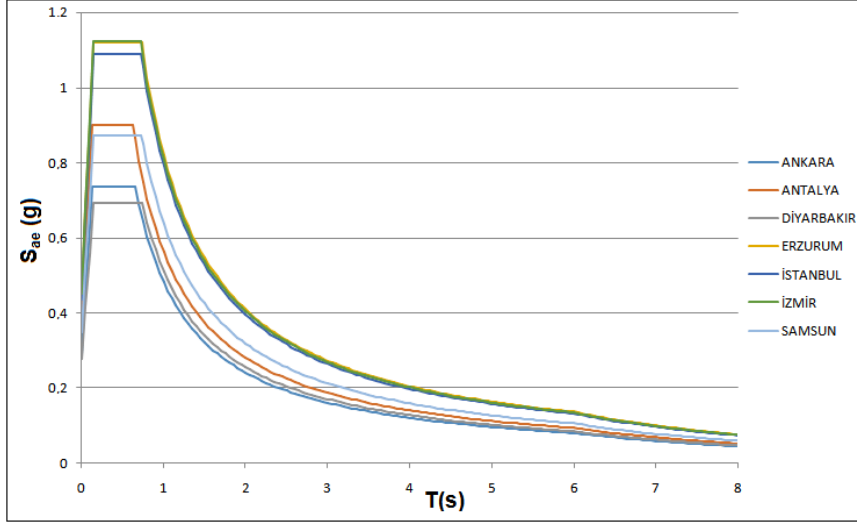
elastik spektrum değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyot değerleri olan TA ve TB, düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyot değerleri TAD ve TBD, her bir coğrafik konum için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Geometrik konum farklılaşmasının dikkate alınması için seçilen her bir il için elde edilen deprem parametre değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Deprem parametre değerlerinin karşılaştırılması

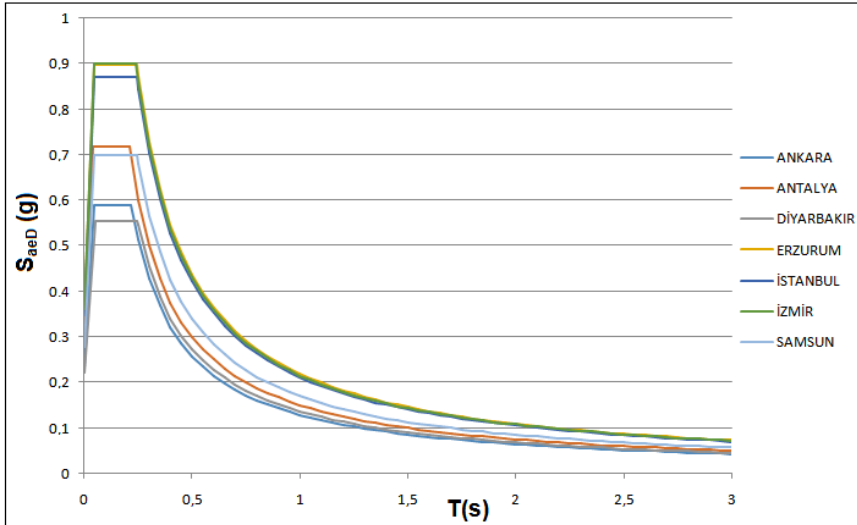
Parametre	Ankara	Antalya	Diyarbakır	Erzurum	İstanbul	İzmir	Samsun
S_s	0.344	0.561	0.310	1.091	0.966	1.128	0.527
S_1	0.120	0.150	0.130	0.285	0.267	0.277	0.186
PGA	0.149	0.262	0.138	0.458	0.396	0.460	0.224
PGV	10.131	11.054	10.327	27.695	24.410	27.994	15.598
F_s	2.137	1.602	2.232	1.027	1.127	0.998	1.657
F_1	4.020	3.750	3.930	2.875	2.965	2.915	3.426
S_{Ds}	0.735	0.899	0.692	1.121	1.089	1.125	0.873
S_{D1}	0.482	0.563	0.511	0.819	0.792	0.807	0.637
TA	0.131	0.125	0.148	0.146	0.145	0.144	0.146
TB	0.656	0.626	0.738	0.731	0.727	0.718	0.730
TAD	0.044	0.042	0.049	0.049	0.048	0.048	0.049
TBD	0.219	0.209	0.246	0.244	0.242	0.239	0.243

Her bir il için İnteraktif Web Deprem Uygulaması yardımı ile elde edilen yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışmada dikkate alınan tüm

iller için elde edilen düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması



Şekil 5. Düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması

Yapı Performans Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

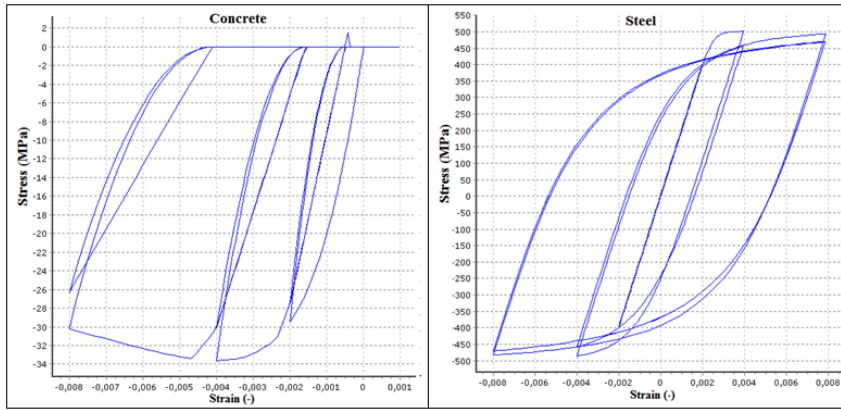
Farklı coğrafik konumlar için yapısal analizler Seismostruct yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yazılım içerisinde bulunan statik adaptif itme analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yapının yatay yükler altındaki kapasitesini belirlemek için yer hareketine ait frekans içeriği

ve yapının deformasyonunun, dinamik davranışına etkisi tamamı ile dikkate alınmaktadır [18-23]. Adaptif itme analizinde, analiz boyunca her adımda gerçekleştirilen özdeğer analizlerinden elde edilen mod şekilleri ve katılım faktörleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, özellikle yerel zemin koşullarının dikkate alındığı sahaya özel spektrumlarının kullanılmasına imkan tanıyan bir yöntemdir. Yöntem yardımı ile yapı için yük

dağılımları, şekil değiştirme profilleri elde edilebilmektedir. Geleneksel itme analizinde dikkate alınan girdi, işlevsellik ve yük kontrol tipleri statik adaptif itme analizi ile benzerdir [24-26].

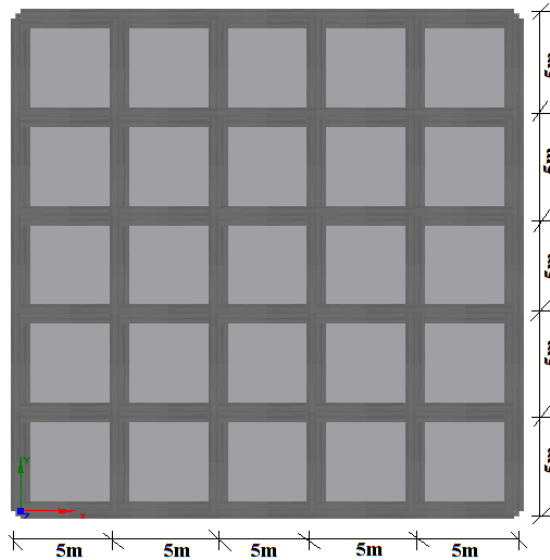
Çalışma kapsamında tüm iller için aynı özelliklere sahip yedi katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiştir. Yapı simetrik olarak seçildiğinden sadece bir doğrultuda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Analizler akademik lisanlı olarak Seismostruct yazılımında gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak seçilen betonarme yapıda yapı önem sınıfı olarak IV. sınıf ve sönüm oranı olarak %5 değeri dikkate alınmıştır.

Yapı malzemelerinin yük altındaki davranışları matematiksel modeller yardımı ile yapılmaktadır. Malzeme modelleri yapı tasarım ve değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir [4,27,28]. Örnek olarak seçilen betonarme bina için tüm illerde beton için yazılım programı içerisinde yer alan Mander vd. (1988) [29] tarafından önerilen doğrusal olmayan beton modeli kullanılmıştır. Çelik malzemesi için de Menegetto-Pinto (1973) [30] tarafından önerilen çelik modeli dikkate alınmıştır. Beton ve çelik için dikkate alınan malzeme modellerine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 6'da verilmiştir.



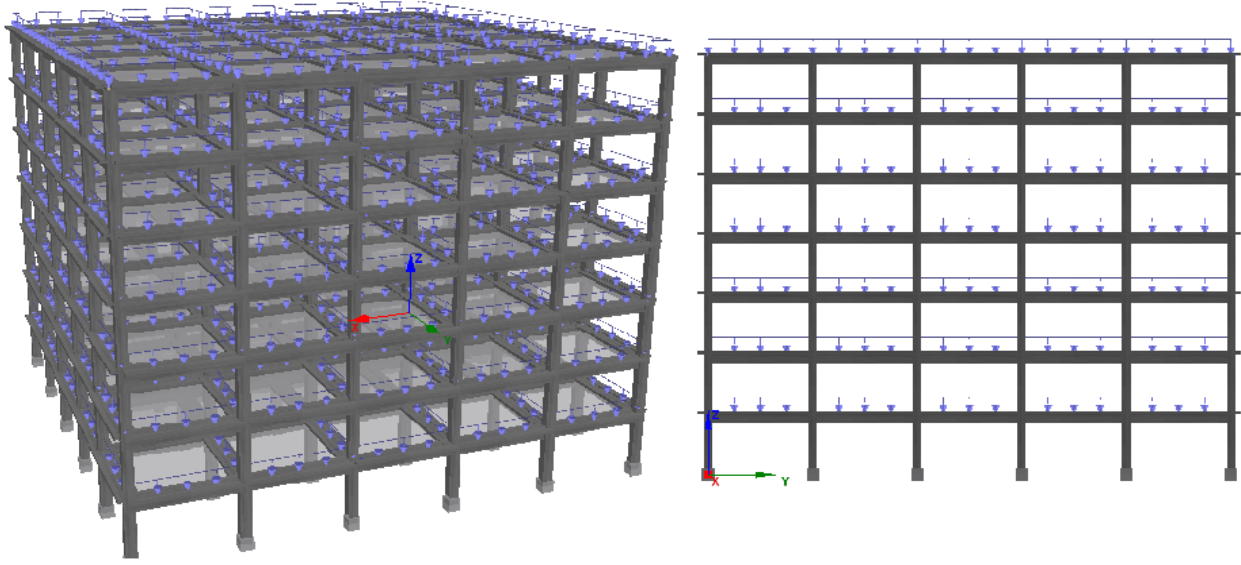
Şekil 6. Çalışmada dikkate alınan beton ve çelik için malzeme modelleri [31]

Seçilen betonarme yapıya ait kat kalıp planı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Örnek olarak seçilen betonarme yapıya ait kat kalıp planı

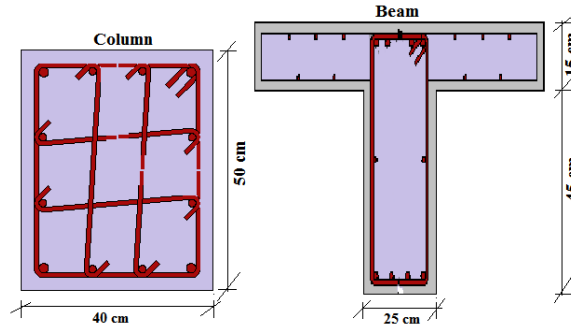
Çalışmada kullanılan betonarme yapı için yazılım programından elde edilen iki ve üç boyutlu yapı modelleri ve uygulanan yüklerin gösterimi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Örnek olarak seçilen BA yapıya ait iki ve üç boyutlu modeller

Çalışmada dikkate alınan betonarme yapılarda C25-S420 dikkate alınmıştır. Betonarme binada kullanılan kolon ve kiriş en kesitleri Şekil 9’da verilmiştir. Hem kolon hem de kirişlerde enine donatı olarak $\phi 10/10$ seçilmiştir. Kolonlarda

boyuna donatı olarak köşelerde $4\phi 20$, diğer boyuna donatılar ise $8\phi 16$ olarak seçilmiştir. Kirişlerde ise alt ve üst bölgede $4\phi 14$ ve gövde donatısı olarak de $2\phi 12$ seçimi yapılmıştır.



Şekil 9. Kolon ve kiriş en kesitleri

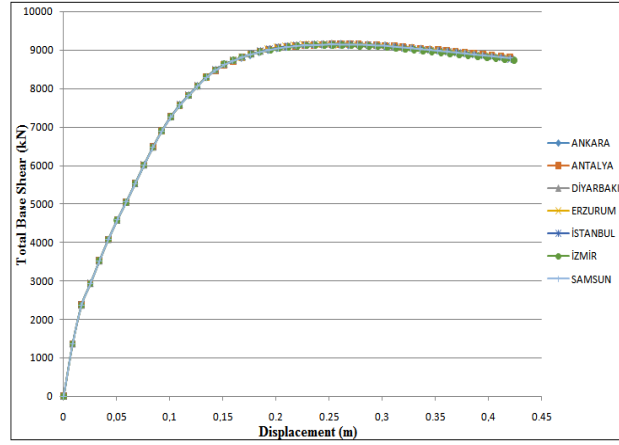
Çalışma kapsamında özdeğer (eigenvalue) analiz sonucu elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması

Mod	Periyot (sn)						
	Ankara	Antalya	Diyarbakır	Erzurum	İstanbul	İzmir	Samsun
1	0.55194	0.55194	0.55194	0.55194	0.55194	0.55194	0.55194
2	0.482932	0.482932	0.482932	0.482932	0.482932	0.482932	0.482932
3	0.481718	0.481718	0.481718	0.481718	0.481718	0.481718	0.481718
4	0.183109	0.183109	0.183109	0.183109	0.183109	0.183109	0.183109
5	0.15971	0.15971	0.15971	0.15971	0.15971	0.15971	0.15971
6	0.158542	0.158542	0.158542	0.158542	0.158542	0.158542	0.158542
7	0.108563	0.108563	0.108563	0.108563	0.108563	0.108563	0.108563
8	0.094447	0.094447	0.094447	0.094447	0.094447	0.094447	0.094447
9	0.092558	0.092558	0.092558	0.092558	0.092558	0.092558	0.092558
10	0.077659	0.077659	0.077659	0.077659	0.077659	0.077659	0.077659

Çalışma kapsamında örnek olarak seçilen betonarme bina, her il için elde edilen yatay tasarım spektrum eğrileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu her bir il için taban kesme kuvvetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yerdeğiştirme değerleri olarak idealize edilmiş eğri üzerinde yer alan üç farklı nokta için değerler elde edilmiştir. İlk değer akma anındaki yer değiştirmeyi (d_y), ikinci değer intermediate (d_{int}) ve üçüncü değer ise hedef yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Elastik rijitlik değeri (K_{elas}) ve etkili rijitlik (effective stiffness) (K_{eff}) değerleri de tüm modeller için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapıda oluşacak hasar durumları için de hedef deplasmanlar hesaplanabilmektedir. Performansa dayalı

deprem mühendisliğinde, yapı elemanlarının belirli performans limitlerine ulaşıldığı anların belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan her bir yapısal model için yazılım içerisinde yer alan ve uluslar arası kabul gören Eurocode 8 - Part-3 [32], kriterleri dikkate alınmıştır. Buna göre hasar durumları için üç farklı durum belirtilmiştir. Bunlar; göçme öncesi (NC), önemli hasar (SD) ve hasar sınırlaması (DL) olarak dikkate alınmıştır. Bu değerler tüm iller için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapısal hesaplamalar sonucu X doğrultusunda elde edilen tüm değerlerin karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir. Farklı iller için elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması

Tablo 5. X doğrultusunda elde edilen sonuç değerlerinin karşılaştırılması

İl	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Yer değiştirme (m)	K_elas	K-eff	DL	SD	NC
Ankara	9138.21	0.1195	162058.30	76450.08	0.069	0.089	0.154
		0.2427					
		0.4193					
Antalya	9150.95	0.120	162058.30	76236.54	0.122	0.156	0.271
		0.2691					
		0.4199					
Diyarbakır	9173.06	0.1208	162058.30	75947.62	0.064	0.082	0.143
		0.2524					
		0.4193					
Erzurum	9144.60	0.1196	162058.30	76469.35	0.213	0.272	0.473
		0.2504					
		0.4729					
İstanbul	9143.10	0.1196	162058.30	76426.95	0.184	0.236	0.409
		0.2618					
		0.4208					
İzmir	9129.16	0.1191	162058.30	76635.71	0.213	0.274	0.474
		0.2455					
		0.4745					
Samsun	9154.31	0.1201	162058.30	76200.25	0.104	0.134	0.232
		0.2518					
		0.4202					

Sonuçlar

Çalışmanın amacı coğrafik konum değişikliğinin öncelikle deprem ile ilgili parametreleri hangi düzeyde etkilediğini ortaya koymaktır. Coğrafik konum değişikliğinden dolayı değişen deprem parametrelerinin yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını nasıl etkilediği ayrıca hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye’de yer alan tüm coğrafik bölgelerden birer adet il nüfus yoğunluklarına göre seçilmiştir. Yerel zemin koşulları, deprem yer hareket düzeyi ve yapısal özellikleri her bir ilde aynı seçilerek analizler yapılmıştır. Çalışmada ayrıca Türkiye’nin tektonik yapısı ve depremselliği hakkında bilgiler verilmiştir.

Seçilen tüm iller için elde edilen deprem parametrelerinde farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıkların olması sonuçların gerçekçi olduğunun göstergesidir. Bir önceki deprem yönetmeliğinde belli bölgeler için aynı katsayılar kullanılarak dikkate alınan deprem tehlikesi yerini artık sahaya özel tasarım spektrumlarına bırakmıştır. Kısaca yerel zemin koşulları ve deprem düzeyi değişmemesine rağmen yapı hesaplamalarında kullanılacak olan deprem parametrelerinin tamamı değişkenlik göstermiştir. Bu farklılıkların sebebi, bölgenin depremsellik ögeleri, fay/fay grupları ve bunların özellikleri, belirlenen coğrafik konumların fay/fay gruplarına uzaklığı, bölgenin deprem geçmişi gibi özelliklerden kaynaklandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla daha önceki deprem ile ilgili yapı yönetmeliklerinde yer almayan ancak TBDY -2018 ile sahaya hatta noktaya özel deprem hesaplamalarına imkan sağlanması çok büyük bir kazanım olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada ayrıca coğrafik konum değişikliğinden dolayı değişen deprem parametrelerinden elde edilen tasarım spektrumları ile elde edilen yapısal analiz sonuçlarında da farklılıklar elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti, etkin rijitlik ve yer değiştirme değerlerinde değişiklik var iken sadece yapının elastik rijitlik değeri değişmemiştir. Yapının

elastik rijitlik değerinin zemin ve depremsellik ögelerinden bağımsız olarak hesaplanması bu değeri sabit yapmıştır. Tasarım spektrumların değişmesi sonucu yer değiştirme istem taleplerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Bununda yapı ile ilgili hedef deplasman değerlerini değiştireceği sonucu bir kez daha ortaya çıkmıştır. Özdeğer analizi sonucu elde edilen tüm değerler zemin ve bölgenin depremselliğinden bağımsız olduğundan aynı değerler elde edilmiştir. Yapı analizlerinde zemin ve depremden bağımsız olan parametrelerde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak yerel zemin koşulları ve bölgenin depremsellik ögelerinin değişimi yapı analizlerine etki etmiştir. Çalışmada coğrafi konum değişikliğinden dolayı elde edilen deprem ve yapı parametrelerinin değişimi arasında uyum olduğu gözlemlenmiştir. Deprem parametre değerleri yapısal analizleri de aynı şekilde etkilemiştir.

Çalışma kapsamında dikkate alınan illerde en büyük PGA değeri İzmir için elde edilirken, en küçük PGA değeri Diyarbakır için elde edilmiştir. Hasar durumları öngörülen hedef yerdeğiştirme durumları için de bu durum geçerliliğini korumuştur. PGA değerinin yüksek olduğu illerde performans hedefleri için öngörülen hedef yerdeğiştirme miktarları da artış göstermiştir. Dolaysı ile PGA değerinin artması yapıdan öngörülen hedef yer değiştirme miktarlarını arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında PGA değeri en düşük çıkan Diyarbakır için hedef yer değiştirme değerleri de en düşük çıkmıştır. Bu bağlamda tüm iller için hesaplanan PGA ve hedef yer değiştirme değerleri sıralanmasında tam bir uyum elde edilmiştir.

Çalışmada hesaplanan diğer yapısal parametreler arasında çok büyük farklılıklar elde edilmemiştir. Ancak daha yüksek katlı ve simetrik olmayan binalar için yapılacak analizler bu farkın daha belirgin olmasına neden olabilecektir.

Çalışma güncellenen yeni Türk Deprem Yönetmeliği’nin sahaya özel olarak elde edilecek tasarım spektrumlarının kullanılması zorunluluğunun yapı analizlerini ve performans

düzeylerinin daha gerçekçi hesaplanmasına imkân tanıyacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Kaynaklar

- [1] Borchardt, R. D. (2004). A theoretical model for site coefficients in building code provisions. In Procs. 13th World Conference on Earthquake Engineering (pp. 1-6).
- [2] Över, S., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Filazi, A. (2011). Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 62(2), 313-326.
- [3] Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Yılmaz, H., Arısoy, M. Ö. (2013). Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and refraction microtremor (ReMi) measurements. *Journal of Seismology*, 17(2), 425-435.
- [4] Karaşin, İ.B., Işık E., (2017). Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 8(4), 661-673.
- [5] Işık, E., Kutanis, M., Bal, İ. E. (2016). Displacement of the buildings according to site-specific earthquake spectra. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(1), 37-43.
- [6] Işık, E., Kutanis, M. (2015). Determination of local site-specific spectra using probabilistic seismic hazard analysis for Bitlis Province, Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 19(2), 129-134.
- [7] Işık, E., Büyüksaraç, A., Aydın, M. C. (2016a). Effects of local soil conditions on earthquake damages. *Journal of Current Construction Issues. Civil Engineering Present Problems, Innovative Solutions - Sustainable Development in Construction*, ed. Jarosław Górecki, BGJ Consulting, 191-198.
- [8] Kutanis, M., Ulutaş, H., Işık, E. (2018). PSHA of Van province for performance assessment using spectrally matched strong ground motion records. *Journal of Earth System Science*, 127(7), 99.
- [9] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete; 30364, 2018.
- [10] Aksoy E, İnceöz M, Koçyigit A (2007). Lake Hazar basin: a negative flower structure on the East Anatolian fault system (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 16: 319-338.
- [11] Demirci A (2019). Frequency-dependent body-Q and coda-Q in Karlıova Triple Junction and its vicinity, eastern Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 28: 902-919.
- [12] Oral B, Reilinger RE, Toksöz MN, King RW, Barka AA, Kinik I (1995). Coherent plate motions in the eastern Mediterranean continental collision zone. *EOS* 76 (2), 9–11.
- [13] Le Pichon X, Chamot-Rooke N, Lallemand S, Noomen R, and Veis G (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12,675–12,690,
- [14] Şengör AMC (1980). Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi 2: 40, Ankara (in Turkish).
- [15] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 30. ISBN: 978-605- 5310-56-1.
- [16] KOERI (2019) Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute National Earthquake Monitoring Center. Earthquake Catalog Search System <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog/> (accessed 15 December 2019).
- [17] <https://tdth.afad.gov.tr/> (Access date: 08.09.2019)
- [18] Antoniou S, Rovithakis A, Pinho R, 2002. Development and Verification of a Fully Adaptive Pushover Procedure. *Proceedings of the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK, Paper No:822.
- [19] Antoniou S, Pinho R, 2004. Advantages and Limitations of Force-based Adaptive and Non-Adaptive Pushover Procedures. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(4):497-522.
- [20] Ferracuti B, Pinho R, Savoia M, Francia R, 2009. Verification of Displacement-based Adaptive Pushover Through Multi-ground Motion Incremental Dynamic Analyses. *Engineering Structures*, 31:1789-1799.
- [21] Pinho R, Casarotti C, Antoniou S, 2007. A Comparison of Single-run Pushover Analysis Techniques for Seismic Assessment of Bridges. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(10):1347–1362.
- [22] Casarotti C, Pinho R, 2007. An Adaptive Capacity Spectrum Method for Assessment of Bridges Subjected to Earthquake Action. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5(3):377-390.
- [23] Pinho R, Monteiro R, Casarotti C, Delgado R, 2009. Assessment of Continuous Span Bridges Through Nonlinear Static Procedures. *Earthquake Spectra*, 25(1):143-159.
- [24] Seismosoft, 2014. SeismoStruct v7.0 – A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, available from <http://www.seismosoft.com>.
- [25] Antoniou S, Pinho R, 2004. Development and Verification of a Displacement-based Adaptive Pushover Procedure. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(5):643-661.
- [26] Pinho R, Antoniou S, 2005. A Displacement-based Adaptive Pushover Algorithm for Assessment of Vertically Irregular Frames. *Proceedings of the Fourth European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures*, Thessaloniki, Greece.
- [27] Işık E. Özdemir M. 2017. Consistency of Concrete Material Models that Used for RC Buildings. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering.*, 36(4):92-105.
- [28] Işık E. Özdemir M. 2017. Performance Based Assessment of Steel Frame Structures by Different Material Models. *International Journal of Steel Structures*. 17(3):1021-1031.
- [29] Mander JB, Priestley MJN, Park R. 1998. Theoretical Stress-strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*. 114(8):1804-1825.
- [30] Menegotto M, Pinto PE. 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending. *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 15-22.
- [31] Antoniou S, Pinho R. 2003. Seismostruct–Seismic Analysis Program by Seismosoft. Technical Manual and User Manual
- [32] Pinto, P. E. (2005). The Eurocode 8-Part 3: the new European Code for the seismic assessment of existing structures.

Karayolu ve Demiryolu Dâhilinde Köprü Tasarımının İncelenmesi

A Review of Bridge Desing on the Context of Highway and Railway

Mehmet Çağrı Kızıltaş^{1*}

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 26 Şubat 2020
Düzeltilme: 10 Eylül 2020
Kabul: 15 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Karayolu, demiryolu, köprü tasarımı, dayanım

Doi: 10.24012/dumf.695109

ÖZET

Bu çalışmada ilk olarak ulaşımdaki küresel eğilimlere değinilmiş olup ardından karayolu ve otomobil kullanımına olan yönelim küresel örneklerle açıklanmıştır. Ardından ise kentsel büyümenin raylı sistemlerle bağlantısı tartışılmıştır. Sonrasında karayolu ve demiryolu sanat yapısı olarak köprüler ve tasarımları detaylı olarak tahlil edilmiştir. Bu kapsamda Türkiye'den köprü örnekleri paylaşılmıştır. Son olarak da sonuç ve öneriler verilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 February 2020
Revised: 10 September 2020
Accepted: 15 September 2020

Keywords:

Highway, railway, bridge design, strength

ABSTRACT

In this study, firstly transportation trends are mentioned and trends to highway transportation and automobile usage are expressed by examples. Then connection between urban sprawl and railways is evaluated. After these bridges and their designs are analyzed in deatail as an artificial structure of railways and highways. In this context bridge samples by Turkey are shared. Lastly conclusions and recommendations are given.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ
✉ mckiziltas@ticaret.edu.tr

Giriş

Ulaştırma, sosyal-politik-tekni-ekonomik-kültürel bağlantıların odağında yer alan, birbiri ile etkileştiren unsurlardan birisidir bu söz konusu unsurların her birisiyle doğrudan ve karşılıklı bir bağlantıya sahiptir. Ulaştırma, planlama ile beraber tüm söz konusu bu unsurların hem etkileyeni ve hem de etkilenenidir. Ulaştırma ve planlamayı, belirli bir coğrafya üzerinde izler, tasarım, planlama ve projeksiyonların tamamı olarak anlamak da mümkündür. Söz konusu coğrafya, bazen bir kent-yöre-ülke, bazen bir bölge ve bazen küresel ölçeğin tamamı olarak da telakki edilebilir. Ulaştırma ayrıca nerede ise her sektördeki arz talep dengesine bir yönüyle dahil olan bir sektörü ortaya koymaktadır, dolayısı ile de küre ölçeğindeki ilişkilerin devamlı arttığı bir yüzyılda büyük öneme sahip olmaktadır.

Geneli itibariyle dünyada Kuzey kentleri; daha az nüfus yoğun yapıları, göç yolları üzerinde olmamaları gibi konumlanmaları itibariyle ve kuzeybatı coğrafyasının yeryüzünde yakaladığı ekonomik-tekni-kültürel üstünlük çerçevesinde 'sorunlarını minimize etmede' daha avantajlı konumdadırlar. Bir başka; Anglo-Sakson (Kuzey-Batı İttifakı) kültürü şehri örneği ise dünyanın en güney ucundaki Avustralya'nın Sidney, Canberra (Kanbera) ve Yeni Zelanda'nın Wellington (Wellington) şehirlerinde görülebilmektedir. Bu şehirlerde; alışılmışın dışındaki iklimleri, yüksek hayat standartları, az nüfuslanmaları itibariyle yine bir Batı Uygarlığı ortak dilinin örneklerini sunmaktadır. Türkiye; coğrafi konumu itibariyle tam bir doğal kavşak niteliğinin içini doldurmaktadır. Yakın zamana kadar politik kültürde bu köprü olarak ifade edilmektedir. Bu nitelilerin sosyal-siyasal kavramsallaştırması ayrı ve önemli bir konu olmakla beraber, kesin olan şudur ki doğal bir yoğunluk ve akış güzergâhı olan Türkiye coğrafyasının arz-talep dengesinin iyi yönetilmesi ve yönlendirilmesi, bir toplanma-dağılma noktası olarak yeniden tasarımı, her anlamda iyi bir ulaştırma mühendisliği gerektirmektedir. Türkiye; dünyanın kültür coğrafyasının merkezinde bir konuma sahip

olup, Akdeniz Havzası'nın ve aynı anda birçok beşeri havzanın önemli bir bileşenidir [1].

İçerisinde bulunduğumuz coğrafya, Kafkasya, Balkanlar, Ortadoğu, Kuzey Afrika ve İç Asya'nın komşuluğunda ve tamda merkezindedir. Bunu ifade eden yakın dönemdeki politik dil ise; 'Almanya'dan Moskova'ya Pekin'e Yeni Delhi'ye kadar bir sınırın komşuluğunda olan geniş beşeri coğrafyanın en büyük ekonomisi olma' hedefidir. Bu merkezi konum bile; bizlere tek başına 'ekonomi-politika-toplumsallık-kültür' kavramlarını hatırlatmaktadır. Bu ana kavramların hepsiyle ilişkili olan ise ulaştırmanın yönetimi ve şehirleşmedir.

Çin kentleri yeni karayolu ağı altyapısına büyük miktarlarda yatırım harcamaları yapmasına karşın, özellikle en büyük kentler başta olmaz üzere, henüz halen ulaştırma talebinin hızlı artışını karşılayabilecek düzeye ulaşmamıştır. Çin'e has bir problem ise yerel yolların yenilenmesi yönündeki ihtiyaca karşın, hemen hemen bütün yeni karayolu inşalarının kent in ana arterleri ve otoyollara odaklanmış olmasıdır. Örneğin Pekin ve Şanghay günümüzde yüksek kaliteli ve oldukça gelişmiş otoyol ağlarına sahiptir fakat yerel yolları halen dar ve kronik trafik tıkanıklığı problemleriyle boğuşmaktadır. Bu durumda, yeni inşa edilmiş ana arterlerdeki trafik, yerel yollara etkin bir şekilde dağıtılamamaktadır. Çin'deki önemli bir faktör ise, en çok araca sahip en refah seviyesi yüksek hane halklarının trafik tıkanıklığının en çok olduğu kent merkezlerinde yaşıyor olmasıdır. Bu; araç kullanımının, alanın en yetersiz olduğu yerde en yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Kent içi seyahat talebi aynı zamanda, çekirdekte yüksek istihdam yoğunluğuyla, Çin kentlerinin tek merkezli arazi kullanım unsuruna da bağlıdır [2].

Her iki ülkedeki iki tekerlekli motorlu taşıt sayıları kıyaslandığında ise, Çin'in Hindistan'ı 2000 yılı itibariyle geride bıraktığı görülmekte olup bunun nedeni muhtemelen ekonomik büyüme hızının nispeten daha yüksek olmasıdır. Nispeten daha düşük gelirli olan Çin'in

kuzeyindeki kentlerde motosiklet kullanımına getirilen keskin kısıtlamalara bağlı olarak, bu kentlerdeki motosiklet kullanım oranları ülkenin güneyindeki kentlere nazaran oldukça düşük düzeylerde kalmıştır. Örneğin; Pekin, Tianjin ve Hangzhou gibi kentlerde motosiklet modal payı %2'lerin altında iken Fuzhou ve Guangzhou gibi kentlerde ise motosiklet modal payları %10'ların üzerinde gerçekleşmektedir. Her iki ülkede de mevcut durumda motorlu iki tekerlekli toplam motorlu taşıtlar içerisindeki en kalabalık grupları teşkil etmektedir. İki tekerlekli orta sınıf için artan bir şekilde ekonomik olarak makul, esnek ve nispeten hızlı ulaşım imkânı sağlarken, trafik güvenliği anlamındaysa ciddi problemler teşkil etmektedirler. Aslında motosikletlerden kaynaklı yüksek ölüm oranları ve hava kirliliğine bağlı olarak, yakın dönemde çoğu Çin kenti motosiklet kullanımını ya tamamen kısıtlamış ya da kullanımlarını belli koşullar altında kısıtlamıştır. Bu kısıtlamalar muhtemelen Çin'de gelecekteki motosiklet kullanımını azaltacaktır. Motosikletler üzerindeki bu kısıtlamalara bağlı olarak, ağırlıkları 40 kg'dan az olması ve 20 km/saat'ten düşük tasarım hızları nedeniyle birçok kentin elektrikli bisikletlere izin vermesinden dolayı elektrikli bisikletler ve mobiletlerin satışında yakın gelecekte bir patlama beklenmektedir. 2005 yılında Çin'de yaklaşık 10 milyon elektrikli motosiklet ve mobilet satılmış olup 2006 yılında bu satışlar 16 milyona yükselmiştir. Eğer söz konusu politikalar aynı kalırsa, elektrikli bisiklet ve mobilet satış rakamları takip eden yıllarda dramatik artışlar göstermeye devam edecektir. Fakat bazı kentler, kentsel yollarda sebep oldukları trafik tıkanıklıkları ve trafik güvenliği problemleri nedeniyle çoktan elektrikli bisiklet kullanımına kısıtlar getirmeye başlamışlardır. Örneğin Guangzhou kenti 1 Aralık 2006 tarihinden itibaren bütün elektrikli bisikletleri, mobiletleri ve motosikletleri yasaklamıştır. Yakın dönem çalışmaların çoğunda motosikletler ve mobiletler motorlu taşıt kapsamında sayılıyor olmalarına karşın, dünya genelindeki farkındalık ise son yirmi yılda hızlı bir artış gösteren otomobil sahipliğine odaklanmaktadır. 1991'den

2003 yılına kadar olan dönemde, Çin'de bin kişi başına düşen araç sayısı sadece 12 yılda beş kat artarken, aynı dönemde Hindistan'da ise bu sayı iki kattan fazla bir artış göstermiştir. Çin'de araç sahipliği oranındaki artış hızı daha yüksek olup 1998 yılı itibariyle Hindistan'ı geride bırakmış, bu aynı zamanda Çin'in kişi başı milli gelirinin Hindistan'ı geride bıraktığı yıldır. Araç sahipliği Çin ve Hindistan'ın ekonomik ve politik üst tabakasında yoğunlaşmakta olup diğer taraftan orta sınıflarda da hızlı bir artış göstermekte, bunun bir nedeni de her iki ülkede de otomobil sahibi olmanın popüler bir tüketim aracı ve prestij sembolü olmasıdır [2].

Hem Çin ve hem de Hindistan kentlerindeki karayolu ağı arzı, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin çok gerisindedir. Örneğin ortalama karayolu ağı yoğunluğu Pekin'de 3,16 km/km² iken Şangay'da ise 4,42 km/km²'dir olup bu oranlar Los Angeles (9,00 km/km²) ve Londra'dakinin (10,70 km/km²) yarısından azına tekabül etmektedir. Karayollarınca işgal edilen toplam arazi yüzölçümü yüzdesi üzerinden karayolu arzı ölçüldüğünde, Hindistan kentlerinde oldukça değişken sonuçlar elde edilmiş olup bu oran Delhi için %21 iken Mumbai'de ise %11 ve Kalküta'da sadece %5 olarak ölçülmüştür. Delhi bu noktada bir istisna olarak değerlendirilmektedir. Bununla beraber ulusal başkent olarak büyük merkezi hükümet yardımları sayesinde Hindistan kentleri içerisindeki en iyi karayolu ağına sahiptir [3].

Bir diğer önemli trafik tıkanıklığı kaynağı ise farklı ve karma ulaştırma mod kullanımlarının kısıtlı karayolu ağ kapasitesiyle sınırlandırılıyor olmasıdır. Özellikle Hindistan'da; bisiklet, bisikletli triportör, fayton benzerin hayvan çekişli araçlar ve yayalar gibi motorlu olmayan ulaştırma modları belirgin bir şekilde arabalar, kamyonlar, otobüsler, triportörler ve motosikletlere nazaran oldukça yavaştır. Böylesine geniş bir karayolu ağı kullanıcı çeşitliliği, aynı zamanda söz konusu farklı modların, bir dizi zorluğa neden olan bir şekilde, büyüklük, manevra kabiliyeti, kapasite, hız ve diğer işletim karakteristikleri gibi bir dizi

farklılıklarından ötürü trafik güvenliği problemlerine de neden olmaktadır. Söz konusu durum Çin'de de çok farklı değildir. Bunun nedeni ise ana yollarda yolun sağ şeritlerinin yerleşmiş ve gelişmiş bir şekilde bisikletlilere ve yayalara ayrılıyor olmasıdır. Çin'de hatta bununla birlikte, ülkede sayıları hayli fazla olan bisikletliler, dönüşlerde motosikletlilerin şeridine geçiş yapma durumunda oldukları, kavşaklar başta olmak üzere yolun pek çok kesiminde motosikletliler başta olmak üzere farklı ulaşırma modlarıyla rekabete girmek durumunda kalmaktadırlar. Bu durum hem trafik tıkanıklıklarına ve hem de çarpışmalara neden olmaktadır. Ayrıca Çin kentlerindeki çoğu eski ve dar yerel yollar yayalar ve bisikletlilere özel ayrılacak düzeyde yeterli sağ şerit imkânlarına sahip olmamaktadırlar. Hindistan kentlerinde olduğu gibi, bu durum onları yolu motorlu taşıtlarla karma kullanıma zorlamaktadır [4].

Materyal ve Yöntem

Hızla artan talebe karşılık çoğu Çin kenti özellikle yeni ve geliştirilmiş raylı sistem hizmetleri başta olmak üzere toplu ulaşırma sistemlerine yoğun bir şekilde yatırım yapmaktadır. Altı kent (Pekin, Şangay, Guangzhou, Tianjin, Shenzhen ve Nanjing) metro sistemlerine sahiptir ve bu kentlerde mevcut 206 hat km metroya ilaveten 406 hat km daha tamamlanarak işleme alınmaktadır. Bütün bunlara ilaveten on kentte daha yeni metro sistemleri planlanmaktadır. Yedi Çin kenti ise hâlihazırda kent içi raylı sistemlere sahip olup bunlar Pekin, Şanghay, Tianjin, Chongqing, Wuhan, Dalian ve Changchun olup diğer dokuz kentte de kent içi raylı sistemler planlanmaktadır. Son dönemlerdeki teşvikler daha ziyade raylı sistemlere yönelik olurken Çin kentlerinin büyük çoğunluğunda toplu taşıma otobüslerle gerçekleştirilmektedir. Doğrusu Çin'de 1985-2003 yılları periyodunda otobüs sayısı altı kat artarak 45.100'den 264.300'e yükselmiştir. 1995-2003 yılları periyodunda ise otobüs sayıları, Pekin'de dörde, Tianjin'de üçe ve Şangay'da ise ikiye katlamıştır. Bu durumda hem raylı sistem ve hem de otobüs hizmetlerinin arzı

artan talepleri karşılamak için son yirmi yılda büyük bir artış göstermiştir [5].

Son birkaç yılda, bununla birlikte Çin kentleri, metro ve hafif raylı sistemlerinin geliştirilmesi, uzatılması ve inşasında büyük bir miktarı teşkil edecek bir şekilde, raylı sistem hizmetlerine odaklanmıştır. 2001'den beri raylı taşıma sistemi yatırımları Pekin'de ortalama yaklaşık 1 milyar ABD doları/yıl ve Şanghay'da da ortalama 1,7 milyar ABD doları/yıl olarak gerçekleşmektedir. Yüksek kapasiteli demiryolu taşımacılığının; Çin'in hızla gelişen kentlerini her geçen gün daha çok karakterize eden yüksek yoğunluklu ve oldukça tıkanık koridorlar boyunca çok büyük sayılardaki yolcu hareketleri için gerekliliği noktasında küçük bir soru işareti olabilir. Bazı durumlarda, bununla beraber, yüksek profilli raylı sistem projeleri otobüsler yerine tercih edilmektedir çünkü demiryolu modernite ve ileri teknolojiyi temsil etmekte ve politikacılar destekçileri ve dünyanın geri kalanına, somut ve yüksek görünürlüklü bir etki bırakma imkânı sağlamaktadır.

Fon eksikliklerine karşın, Delhi ve Kalküta'daki metro sistemleri büyümekte ve büyük kentlerdeki banliyö raylı sistemleri; ilave daha fazla tren ve yeni vagonlarla birlikte yerel trafiği ekspres trafikten ayırmak için bazı hat uzantılarında rayların iki katına çıkarılması ve güzergah genişletilmesiyle geliştirilmektedir. Bununla birlikte bütün bu gelişimler 1980'den bu yana üç kat artan banliyö raylı sistem talebini karşılama noktasında yetersiz kalmaktadır. Hatta problemler Hindistan'da toplu taşıma yolculuklarının kabaca %90'ından fazlasının gerçekleştiği otobüs hizmetleri için daha da kötüleşmektedir. Hindistan'daki otobüslerin çoğu kötü tasarlanmış, eski, yeterince bakımdan geçmemiş olup pik (zirve) saatler boyunca kapasite aşımı dolu olmaktadır. Hükümetin hemen her kademesi otobüs hizmetlerini ihmal etmiş olup bu hizmetlere özel şerit ayrılması ve trafikte öncelik sağlanması noktasında başarısız olmuş olup filolarını modernize edecek fonlardan da mahrum bırakmıştır [6].

Raylı sistem hizmetlerinde kayda değer gelişimler kaydedilirken, otobüs hizmetleri kötüleşmeye devam etmekte olup bu durum da

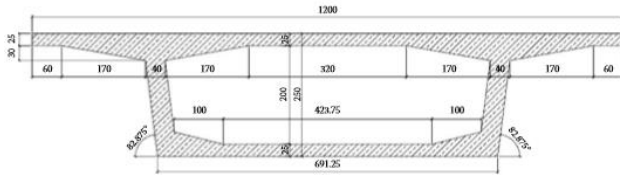
yolcuların çoğunu otomobil ya da motosiklet gibi daha hızlı motorlu taşıtları tercih etmeye zorlamaktadır [6].

Raylı sistemlerdeki küresel artış eğilimleri ve bunun Türkiye'deki daha fa hacimli ve hızlı yansımaları neticesinde, sağlam ve işlevsel köprülerinin inşası hususu ülkemizde demiryollarını da kapsayacak şekilde artan bir ihtiyaç alanına iştir eder bir hal alacaktır. Özellikle yüksek hızlı tren köprüleri bunun içerisinde önemli bir yeri ihtiva etmektedir. Türkiye'de günümüze kadar birçok önemli, dayanımı yüksek ve işlevsel köprünün varlığından söz edilebilir.

Türkiye'den Örnekler

Ortaköy Köprüsü

Giresun'daki Gülburnu Köprüsü, Malatya'daki Beylerbeyi Köprüsü ile Artvin'deki Akarşın Viyadükü ve Ortaköy Köprüsü kısmi beton köprülere örnek olarak verilebilir. İki şeritli 12 metre genişlikli Ortaköy Viyadükü Artvin ve Erzurum kentlerini birbirine bağlamakta olup iki eşit açıklık dâhilinde toplamda 156 metre uzunluğa sahiptir. Yarı parabolik bir şekilde kesit derinliği ayaklardan birleşim elemanlarına doğru azalmaktadır. Ayak ve birleşim elemanına yakın olanı hariç kesitin tipik uzunluğu 4,5 metre civarındadır.



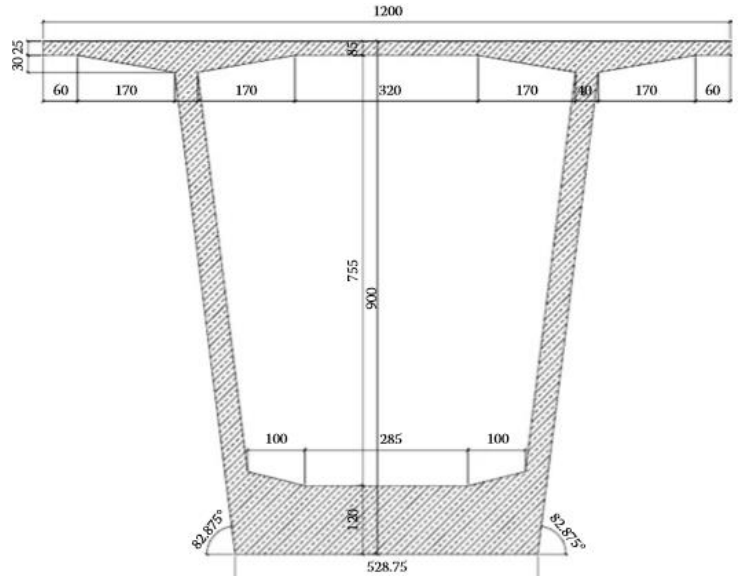
Şekil 1: Birleşim Elemanındaki Kiriş Kesiti [7]

Seçili bir köprü plan ve kesimi için zamana bağlı etkileri de içeren bir inşaa aşaması analizi, bir bilgisayar modeli (LARSA 4D) kullanılarak icra edilmiştir. Her bir kesimin inşası tipik bir 7 gün döngüsüne sahiptir. Tipik bir 7 gün döngüsünde 90 tonluk bir transbordör formu yeni konumuna taşınmış ve beton dökülüp kirişler yüklendikten sonra döngü tamamlanmıştır. İlk tasarımda yapılan değerlendirme nihai tasarım aşamasında küçük değişimler olacak şekilde belirlenmiştir. Sütun kesimi üzerinde her birisi 19 kirişe sahip olan 44 boru kesit kullanılmıştır. Konsol inşası,

mesnede hemen hemen düz konumda ulaşmaktadır. Asal gerilmeler profillerde büyük bir çatlak olup olmadığını belirlenmesi için profillerde kontrol edilmektedir [7].

Köprü; ASSHTO LRFD (2007) ve CEB-FIB (Avrupa Uluslararası Beton Komitesi Uluslararası Öngerme Federasyonu) şartnamelerinin minimum gereksinimlerine dayalı olarak tasarlanmıştır. Köprü HS30-24 yük kamyonlarına göre tasarlanmıştır. Kutu kesitin enine tasarımı, enine ilave gerilmenin, köprünün ve uzun vadeli performansın mukavemetini etkileyebilen üst başlıktaki çatlakların minimize edilmesine gerek duyulduğunu ortaya çıkarmıştır.

Üst başlıktaki enine ilave gerilme gereksinimi hareketli yük ve ısı analizi vasıtası ile belirlenmektedir. Profiller arası mesafe ve hareketli yükün büyüklüğü enine ilave gerilmelerin tasarımındaki belirleyici unsurları teşkil etmektedir [8].



Şekil 2: Ayaktaki Kiriş Kesiti [9]

Ayvacık Eynel Kemer Köprüsü

Köprü baraj vasıtası ile birbirinden ayrılan köyleri birbirine bağlamaktadır. Köprünün toplam uzunluğu 366 metre olup bunun 160 metre uzunluğu ana açıklıktır. Çelik kemer, dâhili takviyeler dâhilinde kutu formudur. Köprünün toplam genişliği 12 metre olup 2 şerit ve 2 yaya yolundan oluşmaktadır. Araç hareketli yükü HS20-S16 olarak seçilmiş olup bu değer;

otoyollarda kullanılan araç tasarım hareketli yükünden daha yüksektir.

Köprü AASHTO standartlarının (2002) minimum gereksinimlerine göre tasarlanmıştır. Köprünün yorulma ömrü aynı zamanda araç hareketlerinin toplam 500.000 döngüsü için hesaplama ile değerlendirilmiştir. Korozyon (çürüme) koruma ve bakım kılavuzu tasarımda yer almaktadır. İnşa boyunca su kütlesi Şekil 3'de görüldüğü üzere uzaklaştırılmıştır. Köprü tamamlanarak Mart 2009 tarihinde trafiğe açılmıştır [10].



Şekil 3: İnşa Süresince ve İnşadan Sonra Samsun Ayvacık Köprüsü [10]

Kablolu Yaya Köprüleri

Türkiye'de nispeten yeni bir eğilim ise kablolu yaya köprüleridir. Köprü estetiğinin özellikle de Ankara'nın kent merkezinde çok sayıda benzer köprü inşası için birincil itici güç olduğu düşünülmektedir. Hoş mimari unsura ilave olarak orta destek ayağının çıkarılması; bir trafik kazası durumunda trafik güvenliğini arttıran bir unsur olmaktadır. Kentsel alanlar trafik tıkanıklığı problemlerine sahip olmaktadır ve yeni altgeçitler ve üstgeçitler trafik akımını daha hızlı bir hale getirir iken aynı zamanda da kentin bölgelerini hızlı akımlı trafik yolları ile bölmektedir. Bu gibi bir olay da kentte onlarca ve hatta yüzlerce yaya köprüsünün yapılmasını gerektirebilir.

Esenboğa yolunda yer alan hemen hemen tipik iki yaya yolu köprüsü Şekil 4'te görülmektedir. Kablo kuvvetlerinin ölçümü, hizmetteki köprünün doğru sehiminin tatbiki ve kablodaki kuvvet dağılımının temini için gereklidir [11]. Kablo kuvvetlerinin ölçümü tipik olarak iki tekniğin kullanımı yolu ile yapılmakta olup bunlardan birisi statik yöntem iken bu yöntemde enine doğrultuda kablo bükülmekte ve kablonun bükülmesi için uygulanan kuvvetin bir fonksiyonu olarak çekme kuvveti dolaylı bir

şekilde temin edilmekte ve enine deformasyon miktarı tayin edilmektedir.



Şekil 4: Esenboğa Yolu Yaya Köprüleri Genel Görünüşü [11]

Uygulama ve Başarımlar

Yapı tasarımında aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Eğimli tabliye ya da eğimli giriş yüzeylerine bağlı etkiler
- Her bir proje için münhasıran belirlenen gereksinimlere göre gerilme artışı ya da düşüşünden kaynaklı boyuna ankraj kuvvetleri
- Her bir proje için münhasıran belirlenen gereksinimlere göre rayların kaza kaynaklı kırılmalarına bağlı olarak boyuna kuvvetler
- İşletimci bileşeni tarafından belirlenen ya da UIC E1 Kılavuzu 779-1'de tanımlı, hat komşuluğundaki yapılarda tren geçişi kaynaklı aerodinamik ve hava akımı etkileri
- Yapıya monte edilmiş olan katener dizisi ve diğer baş üstü ekipmanından kaynaklı yükleme etkileri
- Diğer demiryolu altyapı ve ekipmanından kaynaklı yükleme etkileri

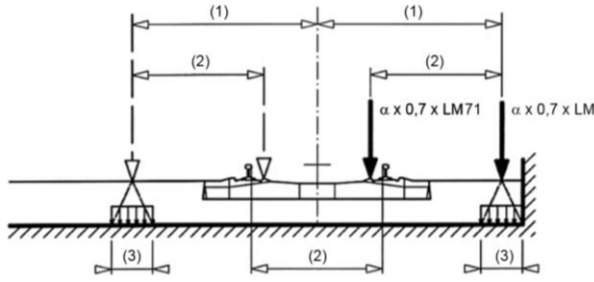
Derayman (Raydan Çıkma)

Demiryolu yapısı öyle bir şekilde tasarlanmalıdır ki bir derayman olayında, köprüdeki nihai hasar (kısmi devrilme ya da yapının bir bütün olarak çökmesi) minimum ile sınırlanmalıdır [11].

Bir Demiryolu Köprüsündeki Trafikte Derayman Olayı

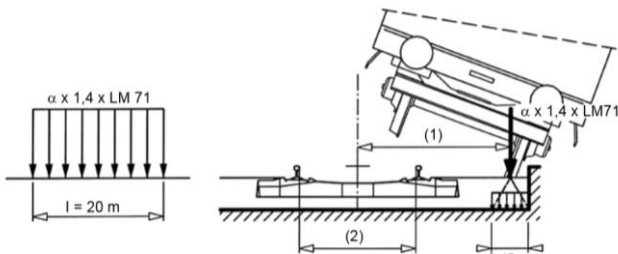
Bir demiryolu köprüsündeki demiryolu trafiğinde derayman olayı bir kaza tasarımı durumu olarak değerlendirilmelidir. Bu noktada iki tasarım durumu hesaba katılmalıdır.

- **Tasarım Durumu I:** Bir parapet duvarı ya da mücavir hat tarafından tutulan araçlar ile köprü tabliyesindeki ray bölgesinde geri kalan derayman olmuş araçlar dâhilindeki demiryolu araçları deraymanı durumu
- **Tasarım Durumu II:** Üstyapı kenar yüklemesi (yürüme yolları gibi yapısal olmayan unsurlar hariç olmak üzere) ve köprü kenarında dengelenmiş araç deraymanı dâhilindeki demiryolu araçları deraymanı durumu



Şekil 5: Tasarım Durumu I Q_{A1d} ve Q_{a1d} Eşdeğer Yüğü [11]

Bu noktada işletmeci bileşeni ilave gereksinimler belirleyebilir. Tasarım Durumu I için yapının ana kısmının çökmesi engellenmelidir. Bununla beraber yerel hasar tolere edilebilir. İlgilenilen yapı kısmı; kaza tasarım durumunda Şekil 5'teki tasarım yükleri için tasarlanmalıdır.



Şekil 6: Tasarım Durumu II q_{A2d} Eşdeğer Yüğü [12]

$\alpha X1$, 4Xyük modeli 71 (LM71); rayın merkez hattının her iki tarafında ray gabarisinin 1,5 kat

genişliğindeki bir alanın içerisinde en istenmeyen konumdaki raya paralel olmaktadır.

Tasarım Durumu II için ise köprü devrilmemeli ya da çökmemelidir. Toplam stabilitenin hesabı için $QA2d=AX1$, 4Xyük modeli 71 (LM71) eşitlikli yük terkininin (dinamik faktör hariç) 20 metrelik bir maksimum toplam uzunluğunda, hesap altında yapının köşesinden üniform yayılı düşey hat yükü olarak etkidiği kabul edilmelidir.

Ayrıca kurb üzerinde yer alan köprüler için yükleme durumu ilgili bölümlerde belirlenmiş olup eğer uygulanabilir ise aynı zamanda, merkezkaç kuvveti olmaksızın dikkate alınmalıdır. Yükleme modeli 71 ve sahada 120 km/Saat'in üzerindeki bir maksimum hat hızı için aşağıdaki durumlar dikkate alınmalıdır [12].

Durum a: Kendi dinamik faktörü ve $f=1$ ve $V=120$ km/saat için merkezkaç kuvveti dâhilinde yükleme modeli 71

Durum b: Kendi dinamik faktörü ve f azaltma faktörü için bir değer dâhilinde belirlenen bir V maksimum hızı için merkezkaç kuvveti dâhilindeki indirgenmiş yükleme modeli 71

Yükleme modeli 71 için f indirgenme faktörü şu şekilde verilmiştir.

$$f = [1 - ((V-120)/1000) \times ((814/V) + 1,75)] \times (1 - (\sqrt{2,88}/\sqrt{L_\phi}))$$

$$f \geq 0,35$$

Burada

L_f : Değerlendirmede yapısal eleman tasarımı için en elverişsiz durum olan köprülerdeki kurb raylarının yüklenmiş kısımlarının tesir uzunluğudur (metre)

V : Maksimum hız

$f=1$ için hem $V \leq 120$ km/saat ve hem de $L_f \leq 2,88$

$f < 1$ için hem $120 < V \leq 120$ km/saat ve hem de $L_f > 2,88$

$f(V)=f(300)$ için hem $V > 300$ km/saat ve hem de $L_f > 2,88$

SW/2 ve yüklemesiz tren yük modelleri için f indirgeme faktörü değeri 1,0 olarak alınmalıdır. 71 ve SW/0 yük modelleri için merkezkaç kuvvetleri, verili yük durumlarına göre tasnifli

düşey yükler kullanılarak belirlenmelidir. Bu noktadaki kriter, 120 km/Saat'i aşan maksimum bir izin verilen araç hızı dahilinde ağır yük trafiği için geçerli değildir. 120 km/Saat'i aşan bir hız dâhilindeki ağır yük trafiği için ilave gereksinimler belirlenmelidir [13].

Sürtünme ve Frenlemeye Bağlı Olaylar

Sürtünme ve frenleme kuvvetleri, hattın boyuna doğrultusunda rayların tepesinden etkimektedir. Dikkate alınan yapısal unsur için frenleme ve sürtünme etkileri adına müteakabil $L_{a, b}$ tesir uzunluğu boyunca üniform yayılı olarak hesaba katılmalıdırlar. Frenleme ve sürtünme kuvvetlerinin doğrultusu her bir hatta kabul edilen seyahat doğrultusunda hesaba katılmalıdır. Sürtünme ve frenleme kuvvetlerinin karakteristik değerleri aşağıdaki gibi alınmalıdır:

Sürtünme Kuvveti: 71, SW/0, SW/2 ve HSLM (yüksek hız yük modeli_YHYM) yük modelleri için

$$Q_{lak} = 33 \text{ kN/m} * L_{ab} \text{ (metre)} \leq 1000 \text{ kN}$$

Frenleme Kuvveti: 71, SW/0, SW/2 ve HSLM (yüksek hız yük modeli_YHYM) yük modelleri için

$$Q_{lbk} = 20 \text{ kN/m} * L_{ab} \text{ (metre)} \leq 6000 \text{ kN}$$

SW/2 yük modeli için

$$Q_{lak} = 35 \text{ kN/m} * L_{ab} \text{ (metre)}$$

Sürtünme ve frenleme kuvvetlerinin karakteristik değerleri, ilgili şartnamede ifade edilen f katsayısı ya da ϕ katsayısı ile çarpılmamalıdır. SW/0 ve SW/2 yük modelleri için frenleme ve sürtünme kuvvetlerinin sadece ilgili noktalara göre yüklenene yapının ilgili kısımlarına uygulanması gerekmektedir. Sürtünme ve frenleme; yüklemesiz tren yükleme modeli için ise ihmal edilmelidir. Bu karakteristik değerler örneğin genişleme araçları ile birlikte ya da mafsallı raylarda olduğu gibi bütün hat inşa tiplerine uygulanabilir. SW/0 ve 71 yükleme modelleri için sürtünme ve frenleme kuvvetleri şartnamede ilgili maddelerde belirtilen gereksinimlere göre α katsayısı ile çarpılmalıdır. 300 metreden fazla yükleme uzunlukları için frenleme etkilerinin değerlendirilmesinde ilave

gereksinimler işletmeci tarafından belirlenmelidir [14].

Sonuçlar ve Tartışma

Ulaştırma ekonomisi hakkında çoğu kişinin kısıtlı düzeyde bilgisi bulunmaktadır. Ancak hemen herkes; yüksek vergiler, kirlilik (gürültü, hava) olmaksızın ve diğer yol kullanıcılarıyla herhangi bir tartışma yaşamaksızın rahat, güvenli ve ekonomik bir seyahat talep etmektedir. Bu durum,

1. Artan motorlu taşıtlarla seyahate uyarlandığında ise sürekli artan otoyol ve otopark kapasitesi ihtiyacı, ilaveten kaza riskleri, kirlilik salımları ve diğer istenmeyen etkilerin karşılanması olarak anlaşılabilir [14].
2. Ülkemiz bulunduğu coğrafyanın stratejik özelliği nedeniyle ulaşım sektöründe önemli bir yere sahiptir. Avrupa'yı Asya'ya bağlayan, Ortadoğu'nun kilit ülkesi Türkiye, dünya ülkelerinin özellikle karadan ve denizden bağlantılarını sağlamaktadır. Bu durum ülkemizin önemini bir kat daha arttırmaktadır [15]. Uzun yıllar sürdürülen çalışmalar sonucu ülkemizde kara, deniz ve hava ulaşımında önemli gelişmeler sağlanmış sosyal ve ekonomik kalkınmamızda sahip olduğumuz ulaşım sisteminin de önemli katkıları olmuştur [16].
3. Etkili bir denetleme ve bunun yanı sıra da 3 ve daha fazla yolculu otomobillere özel şerit ayrılması durumunda kullanıcıların tek kişili özel otomobilden belirli ölçülerde cayabileceği görülmektedir [17]. Bu da yaklaşık olarak %28'lik bir değere tekabül etmektedir. Bu indirgeme oranları ise karayollarındaki yoğun trafiği pekçok önemli geçişte nispeten akıcı trafik haline getirmeyi temin edebilir görülmektedir [18].
4. Dünyadaki sayılı örneklerden birini teşkil eden, İstanbul'daki metrobüs (BRT) uygulaması ile günde 500 araçla 1.000.000 yolcu taşınırken, buna mukabil olarak, 50.000 servis aracıyla taşınan yolcu sayısı 2.200.000/gün'dür [19]. Özel otomobillerle ise İstanbul genelinde

günde 1.500.000 yolculuk yapıldığı ve bir özel otomobilde ortalama 1-1,2 yolcu olduğu düşünüldüğünde yaklaşık 1.500.000 yolcu taşınmaktadır [20].

Buradan hareketle hem metrobüs uygulamasının ve hem de toplu taşımının, kent içi ulaşımdaki yeri ve önemi açıkça anlaşılmaktadır [21]. İstanbul’ da kent içi yolculuklarda pik saatlerde ortalama hızın 10 km/Saat’e kadar düştüğü ve trafik tıkanıklığının İstanbul’a maliyetinin 6 milyar TL/yıl olduğu düşünüldüğünde, verimli bir toplu taşıma sisteminin önemi daha da açık olarak anlaşılmaktadır [22]. Sürdürülebilirlik kavramı; kentsel dönüşümden, entegre ve dengeli bir modal karaktere sahip ulaştırma sisteminden ayrı düşünülemez. Burada sürdürülebilirlik kavramı; ‘insan odaklı, tasarrufu önceleyen, üretimi karakterize eden ve tüketimi dengeleyen’ bir yaklaşım olarak okunabilir ki; buda ‘günümüzü aşan, ileriye planlayan ve bunun içinde geçmişin kavrayışı üzerine ayağını yere sağlam basan’ bir bakış açısını beraberinde getirir [23]. Bütün bunlarda; bir ‘süreklilik algısı’ gerektirir. Bu algıda; ‘geçmiş doğru okuyan’ ve bunun üzerine ‘sürekliliği olan bir perspektifin inşası’ nı bizlere işaret eder. Bütün örnek Batılı Şehirler; bu bütünlüğün, sürekliliğin ve sürdürülebilirliğin örneklerini yansıtarak kendi doğrularını ortaya koymaktadırlar. Bu gibi kararlar birçok zaman, birbiriyle çelişen amaçlar arasında önem ve öncelik sırasına göre tercihi gerektirmektedir. Örneğin, araç seyahat hızlarını arttırmaya yönelik stratejiler, çarpışma risklerini arttırabilir ve yürüyüş standartlarını düşürebilir [24].

Teşekkür

Birlikte mesai yaptığımız hocalarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kızıltaş M., Altan M. 2017. Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- [2] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. High Speed Railways, Current Status and Development Trends at International Scale and Turkey, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [3] Xia C., Xia H., Roeck G. 2014. “Dynamic response of a train-bridge system under collision loads and running safety evaluation of high-speedtrains,Computers and Structures, vol. 140, pp.23–38.
- [4] Zhou H., Ni Y., Ko J. 2010. “Constructing input to neural Networks for modeling temperature-caused modal variability:

- mean temperatures, effective temperatures, and principal components of temperatures,” Engineering Structures, vol. 32, no.6, pp.1747–1759.
- [5] Dianov V., Gevondian T. 2014. Parking system of high reliability innovation Technologies, Vol. 2. pp 531-535.
- [6] Granado F., Coady D., Gillingham R. 2010, The Unequal Benefits of Fuel Subsidies: A Review of Evidence for Developing Countries, World Development Vol. 40, No. 11.
- [7] Ilicali M., Catbas N., Kızıltaş M.s, Ongel A. 2014. Multimodal Transportation Issues in İstanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation, Periodical of Advanced Materials Research, Vol. 831. P.413-417.
- [8] Kızıltaş M., Altan M. 2018. A Review in Term of Service Parameters on the Modal Choices and Mass Transport, İzmir
- [9] Altan M., Kızıltaş M. 2020. Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [10] Takagi R. 2005. High speed railways: the last 10 years, Japan Railway and Transport Review, 40, 4-7.
- [11] Ebeling K. 2005. High-speed railways in Germany, Japan Railway and Transport Review, 40, 36-45
- [12] Theurel J., Theurel A., Lepers R. 2012. Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. Ergonomics, 55, 773e781.
- [13] Kızıltaş M. 2018. Küresel Örnekleri ile Toplu Ulaştırma, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım.
- [14] Kızıltaş M. 2015. Traffic Safety and Railway Applications, Transportation World Newspaper.
- [15] Nijkamp P. 2009. Regional development as self-organized converging growth, In: Kochendörfer-Lucius, G., Pleskovic, B. (Eds.), Spatial Disparities and Development. The World Bank, Washington DC, pp. 265–281.
- [16] Geurs K., vanWee B. 2004. Accessibility evaluation of land-useand transport strategies review and research directions, Journal of Transport Geography 12, 127– 140.
- [17] Ureña J., Menerault P., Garmendia M. 2009. “The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective”, Cities, 26, 5, 266-279.
- [18] 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012. Ankara
- [19] Altan M., Kızıltaş M. 2018. Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1):99-105.
- [20] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [21] Kızıltaş M., Tekin A. 2017. İstanbul’da Raylı Sistem Hatlarının Hat ve Sefer Entegrasyonlarının İncelenmesi, Transist 2017, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2-4 Kasım
- [22] Amendo C., Hamm P., Kelly J., Maerz L., Brunette K., Scudato M., Finley G., Greene L. 2016. Autonomous Vehicles- Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. Munich Re.
- [23] Sak, H., Senior, A., Beaufays, F., (2014) Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling. INTERSPEECH, p.338-342.
- [24] Langford, B., Cherry, C., Yoon, T., Worley, S., Smith, D., (2013) North America’s first ebike share: a year of experience. Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board (In Press)

Bingöl ve Elazığ İlleri Özelinde 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre İvme Spektrumlarının Değişiminin İncelenmesi

Investigation of the Change of Acceleration Spectra in Bingöl and Elazığ Provinces According to 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes

Ömer Faruk Nemutlu¹, Bilal Balun², Ahmet Benli³, Ali Sarı⁴

¹ Bingöl Üniversitesi, Enerji, Çevre ve Doğal Afet Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, ofnemutlu@bingol.edu.tr

² Bingöl Üniversitesi, Enerji, Çevre ve Doğal Afet Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Mimarlık Bölümü, Bingöl, Türkiye, bbalun@bingol.edu.tr

³ Bingöl Üniversitesi, Enerji, Çevre ve Doğal Afet Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, abenli@bingol.edu.tr

⁴ İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, asari@itu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Mart 2020

Düzeltilme: 27 Nisan 2020

Kabul: 20 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Deprem Yönetmelikleri, İvme Spektrumları, Sismik Tasarım, TBDY 2018, DBYBHY 2007

Doi: 10.24012/dumf.703138

ÖZET

Günümüzde inşaat alanında meydana gelen teknolojik gelişmeleri uygulamada aktif ve doğru bir şekilde kullanabilmek için ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren ‘Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’ yerini 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla ‘Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne bırakmıştır. Türkiye sınırları içerisinde yoğun olarak aktif tektonik faylar bulunmasından dolayı depreme dayanıklı yapı tasarımı büyük önem arz etmektedir. Depreme karşı tasarımda yapılara etkiyecek deprem yüklerinin tespitinde tasarım ivme spektrumları kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, 2007 Türk deprem yönetmeliğinden 2018 Türk deprem yönetmeliğine geçilirken meydana gelen deprem hesap esaslarındaki değişimin incelenmesidir. Bu çalışmada 2007 Türk deprem yönetmeliğine göre iki farklı deprem bölgesinde yer alan Bingöl ve Elazığ il şehir merkezlerinin, 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerine göre ivme spektrumları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan bölgeler için farklı deprem yer hareket düzeylerine göre ivme spektrumlarının, köşe periyotlarının, koordinata dayalı spektrum katsayılarının farklı zemin sınıflarına göre değişimi irdelenmiştir. 2007 deprem yönetmeliği ile 2018 deprem yönetmeliği karşılaştırıldığında, 2007 deprem yönetmeliğinde ivme spektrumları bölgesel olarak farklılık göstermez iken, 2018 yönetmeliğinde Afet ve Acil Durum Başkanlığı’nın oluşturduğu Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından alınan ivme parametrelerinin koordinat odaklı değişimi bölgesel bir farklılık göstermesinden kaynaklı olarak ivme spektrumlarında farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Deprem tasarım esaslarında koordinata bağlı çalışan 2018 Türk deprem yönetmeliğinde ivme spektrumları kullanılacağı konumuna göre değişiklik göstermektedir. 2007 Türk deprem yönetmeliğinde ise ivme spektrumları konuma göre değişiklik göstermemektedir. Bu nedenle deprem tasarım esasları açısından, 2018 Türk deprem yönetmeliğindeki ivme değerlerinin, 2007 Türk deprem yönetmeliğindeki sabit ivme değerlerine kıyasla ekonomik ve emniyetli bir durum gösterdiği söylenebilir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 March 2020

Revised: 27 April 2020

Accepted: 20 May 2020

Keywords:

Earthquake Codes, Response Spectrum, Seismic Design, TEC 2018, TEC 2007

ABSTRACT

Nowadays, in order to be able to use the technological developments occurring in the construction field actively and correctly in practice, 2007 Turkish Earthquake Code was abolished as of January 01, 2020 and 2018 Turkey Earthquake Code was introduced. Due to presence of active tectonic faults within the borders of Turkey, earthquake design in structure has great importance. Design acceleration spectra are used to determine the earthquake loads that will affect the structures in earthquake design. The aim of this study is to examine the changes in the earthquake calculation principles that occurred when passing from the 2007 Turkish earthquake code to the 2018 Turkish earthquake code. In this study, acceleration spectra of Bingöl and Elazığ city centers, which are located in two different earthquake zones according to the 2007 Turkish Earthquake Code, were compared according to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes. The variation of acceleration spectra, fundamental periods, and coordinate-based spectrum coefficients according to different ground classes for different earthquake ground motion levels for these regions in the study were examined. When the 2007 Turkish Earthquake Code and the 2018 Turkish Earthquake Code are compared, the acceleration spectra in the 2007 Turkish Earthquake Code do not differ regionally. In 2018 Turkish Earthquake Code, Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency created; Earthquake Hazard Map of Turkey, focused change of coordinates received acceleration parameters, show differences in acceleration spectrum as originating from a regional difference was seen to occur. Acceleration spectra varies according to the location of 2018 Turkish earthquake code working on coordinate in earthquake design principles. In the 2007 Turkish earthquake code, the acceleration spectra do not vary according to location. Therefore, in terms of earthquake design principles, it can be said that the acceleration values in the 2018 Turkish earthquake regulation show an economic and safe situation compared to the constant acceleration values in the 2007 Turkish earthquake code.

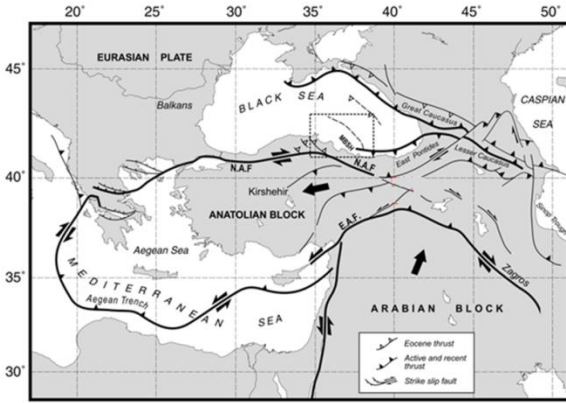
* Sorumlu yazar / Correspondence

Ahmet BENLİ

✉ abenli@bingol.edu.tr

Giriş

Türkiye, sınırları içerisinde bulunan aktif faylar nedeniyle tarih boyunca önemli depremlere maruz kalmıştır. Bu faylardan yaklaşık 1000 km uzunluğunda olan Kuzey Anadolu Fay hattı ve yaklaşık 400 km uzunluğunda olan Doğu Anadolu Fay hattı ülkeyi doğu-batı ve güneydoğu-kuzeydoğu ekseninde çevrelemektedir [1]. Şekil 1’de Türkiye’deki önemli fayları ve Türkiye sınırlarındaki plakları gösteren harita verilmiştir [2]. Bu faylar üzerinde önemli aktif tektonik hareketler tarih boyunca ülkemizde önemli depremler meydana getirmiştir. Bu depremler önemli can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Örneğin 1939 yılında meydana gelen Erzincan 7.9 (Ms) depremi, 23.10.2011 yılında meydana gelen Van 7.2 (Ms) depremi, 22.05.1971 tarihinde meydana gelen 6.8 (Ms) Bingöl depremi ve 17.08.1999 tarihinde meydana gelen Gölcük (Kocaeli) 7.8 (Ms) depremi verilebilir [3].



Şekil 1. Türkiye Fay Haritası [2]

Bu depremler sonucunda ülkemizde yapıların depreme dayanıklı şekilde tasarlanması her zaman önemli bir kriter olmuştur. Bu nedenle ülkemizde tarih boyunca çağın gereksinimlerini karşılayacak ve deprem hesapları yapılırken göz önüne alınacak minimum tasarım koşulları ve sınırlar deprem yönetmelikleriyle verilmiştir. 2016 yılında taslak hali yayınlanan ve 18.03.2018 tarihli resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 2018 Türkiye Bina Deprem

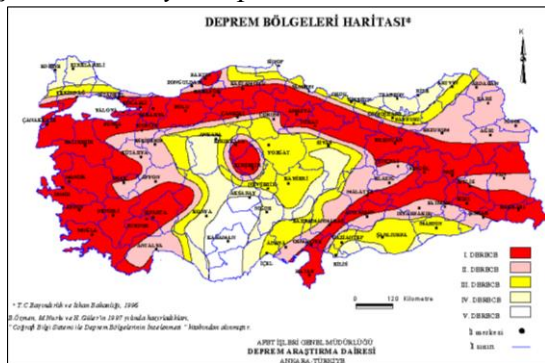
Yönetmeliği (TBDY)’ne kadar 1940’tan itibaren ülkemizde 10 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir [4–6]. Tablo 1’de bu yönetmelikler kronolojik sıra ile verilmiştir. 1998 deprem yönetmeliğinden sonra 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) hazırlanırken; çelik binalar için depreme dayanıklı yapı tasarımı bölümünün detaylandırılması, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi bölümünün eklenmesi, 1998 yönetmeliğinde yer alan ahşap ve kerpiç binaların depreme dayanıklı tasarımına ait bölümlerin kaldırılması gibi küçük çaplı değişiklikler haricinde büyük çaplı bir değişiklik yapılmamıştır. Bu nedenle 1998 yönetmeliğinden itibaren ülkemizdeki deprem yönetmeliği yaklaşık 20 yıl gibi bir süre değişiklik görmeden kullanılmıştır [7]. Bu nedenle tamamen yeni bir yönetmelik olarak hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmıştır [8]. 2018 TBDY ülkemizde 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren kullanımı zorunlu hale gelerek Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007’nin yerini almıştır. Ayrıca Afet ve Acil Durum Başkanlığı’nın (AFAD) yeni yönetmelik çalışmaları ile paralel olarak yürüttüğü Türkiye Deprem Tehlike Haritaları da yeni yönetmelikle birlikte kullanıma sunulmuştur [9]. İnteraktif web uygulaması üzerinden erişilebilen haritaya e-devlet bilgileri kullanılarak girilmektedir. 2007 DBYBHY’de dikkate alınan Türkiye Deprem Bölgeleri haritası yerine geçen tehlike haritaları, bölge haritalarında olduğu gibi sabit katsayılar ile çalışmak yerine kısa periyot ve uzun periyot için ayrı ayrı olmak üzere koordinata dayalı ivme parametreleriyle hesap yapmaya izin vermektedir. 2007 deprem yönetmeliğinde kullanılan Deprem Bölgeleri Haritası ve kullanımına geçilen 2018 deprem yönetmeliğinde kullanılan Deprem Tehlike Haritaları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’te verilmiştir [6, 9, 10].

Tablo 1. Türkiye 'de tarih boyunca yürürlüğe girmiş olan yönetmelikler [4]

Yıl	Tam İsmi	Kısaltması
1940	Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi	-
1944	Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi	-
1949	Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği	-
1953	Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	-
1962	Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	ABYBHY
1968	Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	ABYBHY
1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	ABYBHY
1998	Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	ABYBHY
2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	DBYBHY
2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği	TBDY



Şekil 2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası[6]



Şekil 3. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası[10]

Deprem yönetmeliklerinde verilen tasarım spektrumları, yapıların depreme karşı tasarımında ve yapılara etkiyen deprem yüklerini belirlemede kullanılır. Tepki spektrumları, tek serbestlik dereceli sistemlerde belirli bir sönüm oranı için elde edilen en büyük yer değiştirme, ivme veya hız değerlerinin periyot veya frekansa karşı değişimini göstermektedir. [11–13]. Bu çalışma kapsamında 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerindeki tasarım ivme spektrumları, 2007 deprem yönetmeliğine göre 1. derece deprem bölgesi olarak tanımlanan Bingöl ili şehir merkezi ve 2. Derece deprem bölgesi olarak tanımlanan Elazığ ili şehir merkezi için oluşturularak, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin köşe periyotları ve ivme değerleri arasındaki farklar ile farklı zemin sınıflarına göre tasarım spektrumlarında meydana gelen değişiklikler irdelenmiştir.

İvme Spektrumu Kavramı

İvme spektrumu, deprem etkisine maruz kalan tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışının (hız, ivme ve yer değiştirme) maksimumunu, serbest titreşim periyoduna

bağlı olarak gösteren eğridir [14]. Tasarım spektrumları ise yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlerken kullanılır. Bir tasarım spektrumu hazırlanırken dikkate alınan bölgede geçmişte ortaya çıkmış depremler göz önüne alınarak gelecekte ortaya çıkması olası depremlerin belirlenmesi amaçlanır. Yapıların deprem etkisi altındaki tasarımını tanımlarken deprem spektrumları kullanılır. İvme spektrum eğrisi, göz önüne alınan bir deprem yer hareketinin tek serbestlik dereceli sisteme uygulanmasıyla elde edilen mutlak ivmelerin en büyük değerlerinin toplanmasıyla elde edilir. İvme spektrumları tasarım spektrumlarına dönüştürülerek yapıya etki etkimesi beklenen kuvvetler yanında yer değiştirmeler de bulunabilir [14]. Genelde tasarım spektrumları bir bölgede kaydedilmiş çok sayıda deprem için çizilmiş spektrumların istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucu elde edilirler. Tasarım spektrumlarının oluşturulması ile ilgili maksimum yer hareketi ivmesi yöntemi, Newmark-Hall yöntemi ve Housner yaklaşımı gibi yaklaşımlar literatürde mevcuttur [15–17]. Tasarım bazlı yer hareketlerinin tanımlanmasında kullanılan tasarım spektrumları genel olarak deprem tehlikesi bölge haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine yani en büyük yer ivmesine bağımlı tasarım spektrumları, deprem tehlikesi haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine (0.2 s ve 1 s periyotlarındaki spektral ivmeler) bağımlı tasarım spektrumları ve sahaya özel tehlike analizleri olarak ayrılmaktadır. Daha önceden yürürlükte olan 2007 DBYBHY’de en büyük yer ivmesine bağımlı tasarım spektrumları kullanılırken, 2018 TBDY, ASCE 7-16 ve IBC 2018 gibi yönetmeliklerde 0.2 s ve 1 s periyotlarındaki spektral ivmelere bağımlı tasarım ivme spektrumları kullanılmaktadır [18–26].

2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinde İvme Spektrumları

2007 DBYBHY’de spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına (T_A ve T_B) ve bina doğal periyoduna (T) göre değişmektedir. Bu yönetmelikte T_A ve T_B katsayıları yerel zemin sınıflarına göre değişmekle birlikte sabit katsayılar halinde verilmiştir.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad T_B < T$$

2018 TBDY’de elastik tasarım spektral ivmesi, $S_{ae}(T)$, yer çekimi ivmesi cinsinden doğal titreşim periyodu ile S_{DS} ve S_{D1} parametrelerine göre hesaplanabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken koşullardan biri olarak; köşe periyotları (T_A ve T_B) sabit katsayılar olarak verilmeyip S_{DS} ve S_{D1} parametrelerine göre değişiklik göstermektedir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A$$

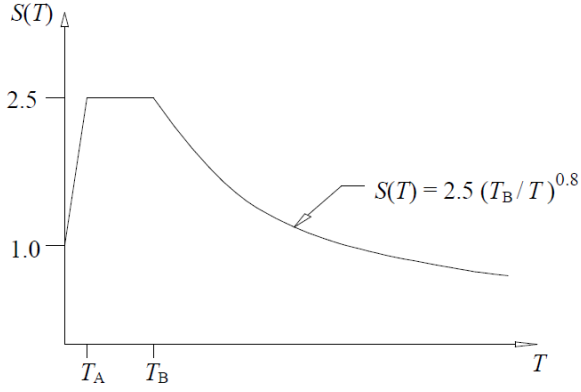
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_L \leq T$$

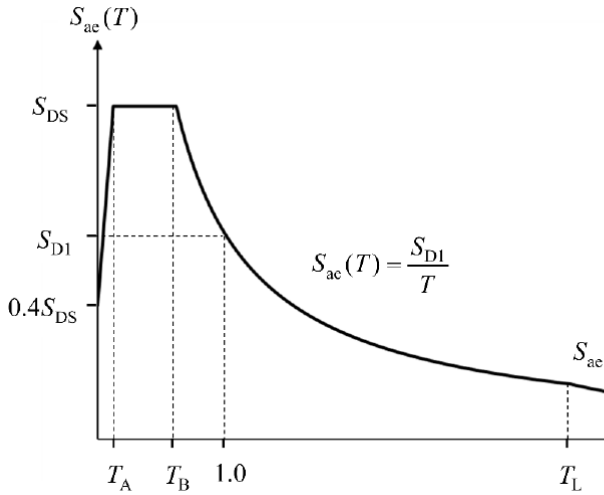
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

2007 DBYBHY ve 2018 TBDY’deki elastik tasarım ivme spektrumları sırasıyla Şekil 4 ve 5’te verilmiştir. 2018 deprem yönetmeliğinde 2007’den farklı olarak düşey elastik tasarım ivme spektrumu tanımlanmıştır. Düşey deprem etkisi; $DTS=1$, $DTS=1a$, $DTS=2$ ve $DTS=2a$ olarak sınıflandırılan ve açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar, açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar, kirişlere oturan kolonları içeren binalar ve kolonları düşeye göre eğimli olan binalarda dikkate alınır.



Şekil 4. 2007 DBYBHY elastik tasarım ivme spektrumu [10]

Şekil 4'te görüldüğü üzere 2007 DBYBHY deprem yönetmeliğinde yapıya etki ettirilecek maksimum ivme değeri spektrumda 2.5 g zirve değeri ile sınırlandırılmıştır. Şekil 5'teki TBDY 2018 yatay elastik tasarım ivme spektrumunda ise maksimum ivme değeri Türkiye deprem tehlike haritalarından alınan parametrelerden deprem etkisini ifade eden S_{DS} parametresiyle değişken zirve değerler almaktadır.



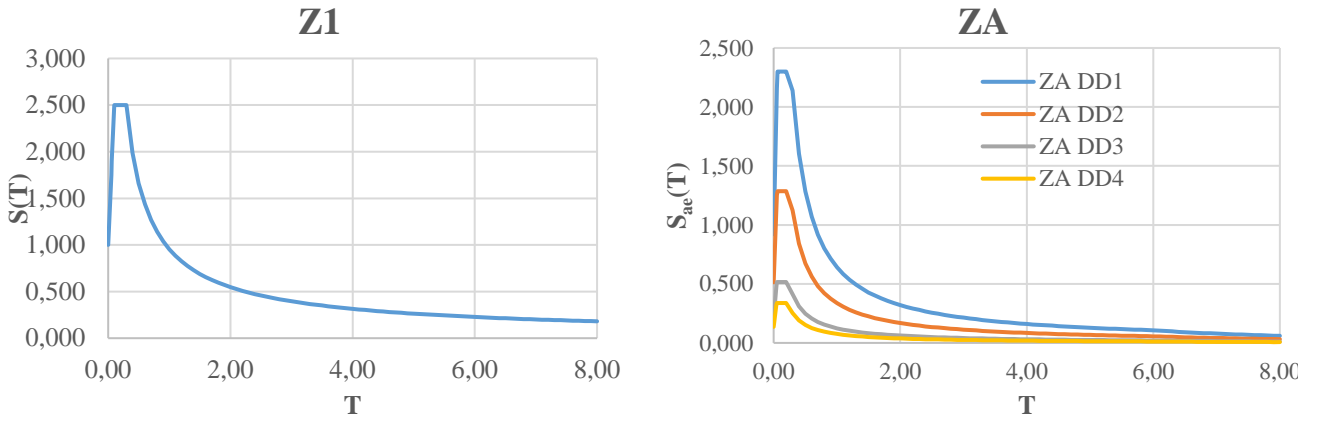
Şekil 5. 2018 TBDY yatay elastik tasarım ivme spektrumu [6]

Çalışma ve Bulgular

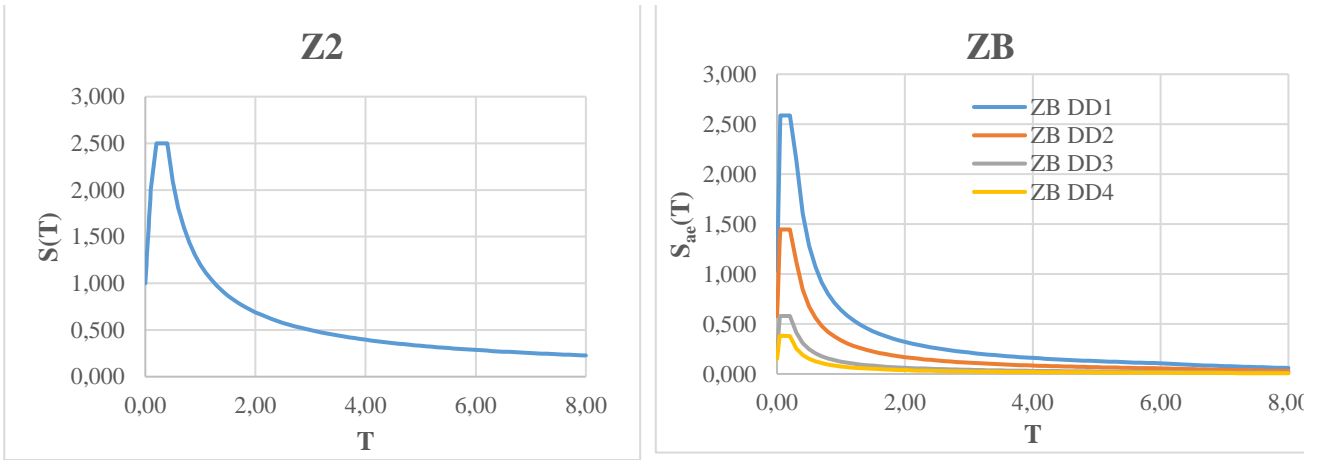
Bu çalışmada 2007 DBYBHY ve 2018 TBDY'deki ivme spektrumları Bingöl ve Elazığ ili için farklı zemin sınıfları göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. 2007 deprem yönetmeliğindeki deprem bölgeleri kavramına göre, 38.8855 enlem ve 40.5101 boylamda bulunan Bingöl şehir merkezi 1. derece

deprem bölgesi olarak, 38.6705 enlem ve 39.2373 boylamda bulunan Elazığ şehir merkezi 2. derece deprem bölgesi olarak kabul edilmiştir. 2007 deprem yönetmeliğine göre oluşturulan ivme spektrumları 475 yıl geri dönüş periyoduna sahip standart deprem yer hareketi düzeyine göre oluşturulmuştur. 2018 deprem yönetmeliğine göre oluşturulan ivme spektrumlarında ise Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının (AFAD) oluşturduğu interaktif web uygulaması üzerinden DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olmak üzere 4 farklı deprem yer hareket düzeyi dikkate alınmıştır. Deprem yer hareket düzeyleri 2018 deprem yönetmeliğinde tanımlanmıştır [6]. Göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak ta adlandırılan DD-1 deprem yer hareket düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan ve tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketlerini belirtmektedir. Standart tasarım deprem yer hareketi olan DD-2 deprem yer hareket düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan çok sık depremleri tanımlamaktadır. DD-3 ve DD-4 deprem yer hareket düzeylerinin spektral büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılıkları sırasıyla %50 ve %68'dir. DD-3 deprem yer hareket düzeyinin tekrarlanma periyodu 72 yıl iken DD-4 deprem yer hareket düzeyinin 43 yıldır. DD-3 deprem yer hareket düzeyi genel olarak sık meydana gelen depremleri niteler. Servis deprem yer hareketi olarak DD-4 deprem yer hareket düzeyi kabul edilmektedir.

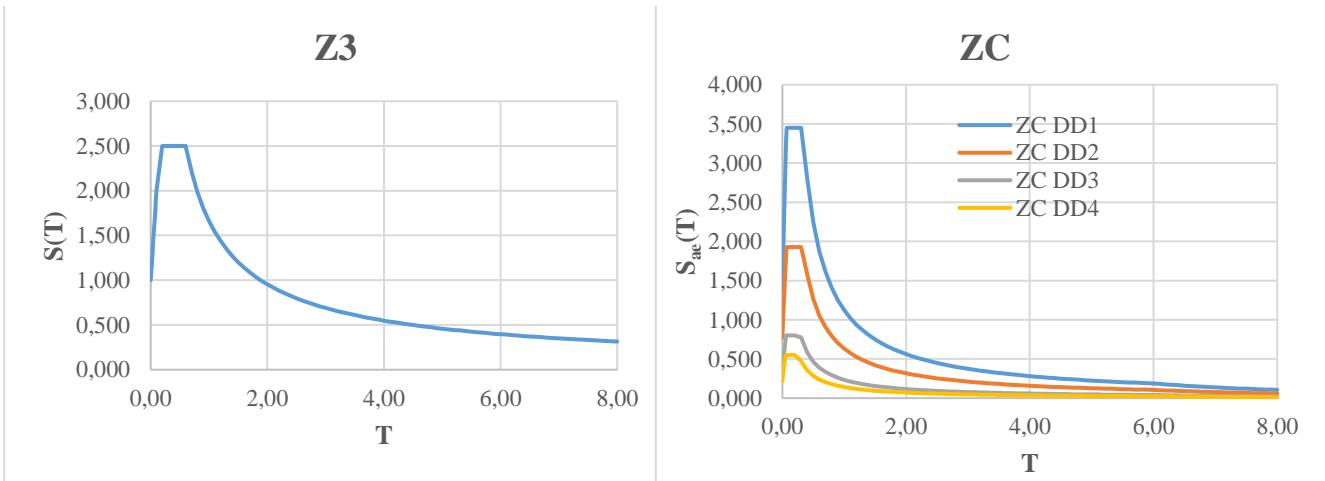
2018 TBDY'de DD-2 olarak tanımlanan standart deprem yer hareket düzeyi, 2007 DBYBHY'de göz önüne alınan standart deprem yer hareket düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve dönüş periyodu 475 yıl) ile eş değerdir. Bu nedenle oluşturulan grafiklerde 2007 DBYBHY'de tek ivme spektrumu 2018 TBDY'de ise 4 farklı ivme spektrumu eğrileri verilmiştir. Bingöl ili şehir merkezi için 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri ivme spektrumları Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Elazığ ili Şehir merkezi için 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri ivme spektrumları ise Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterilmektedir.



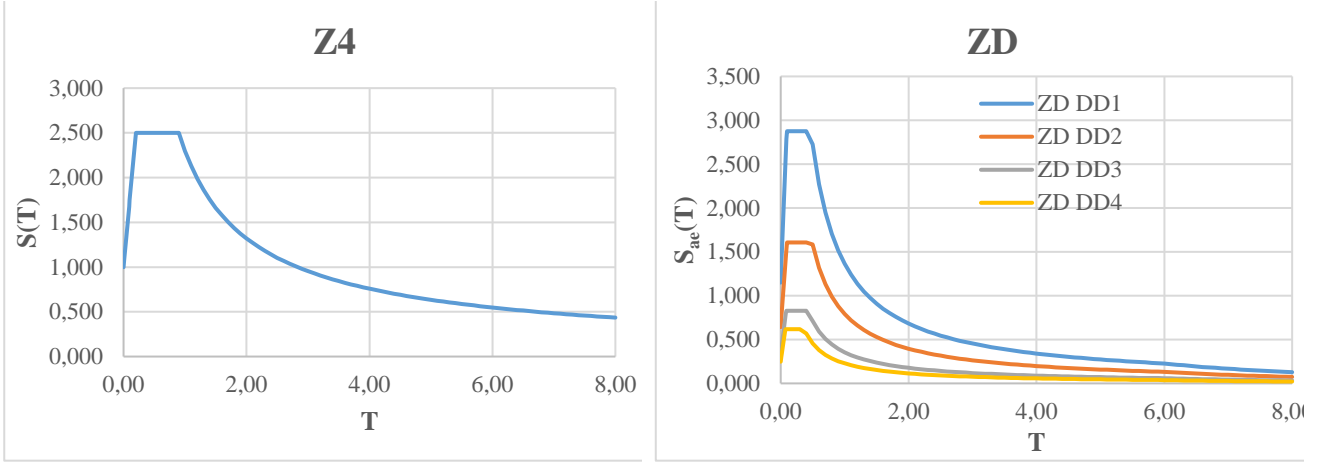
Şekil 6. Bingöl ili Z1- ZA ivme spektrumları



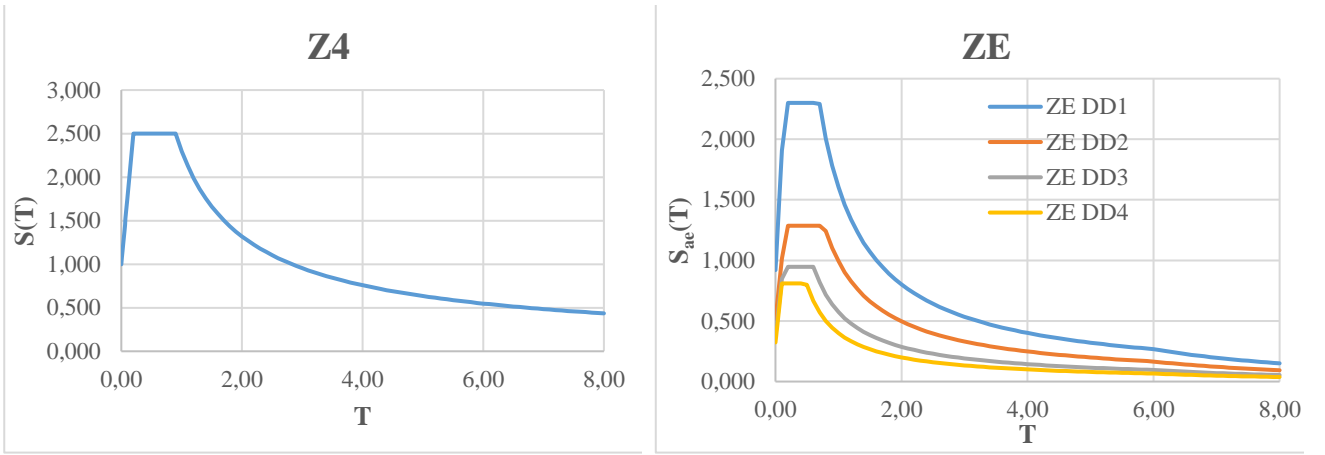
Şekil 7. Bingöl ili Z2- ZB ivme spektrumları



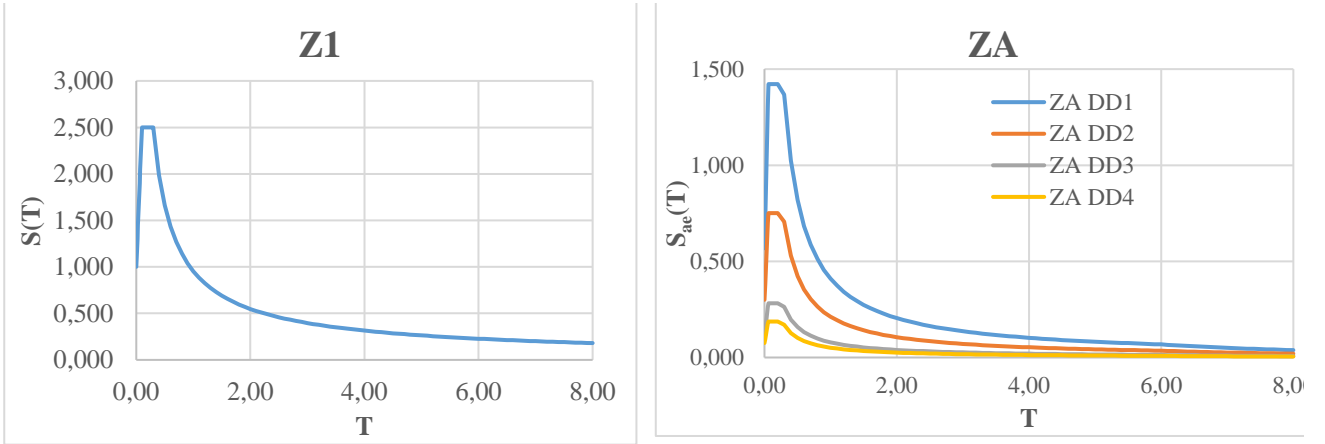
Şekil 8. Bingöl ili Z3- ZC ivme spektrumları



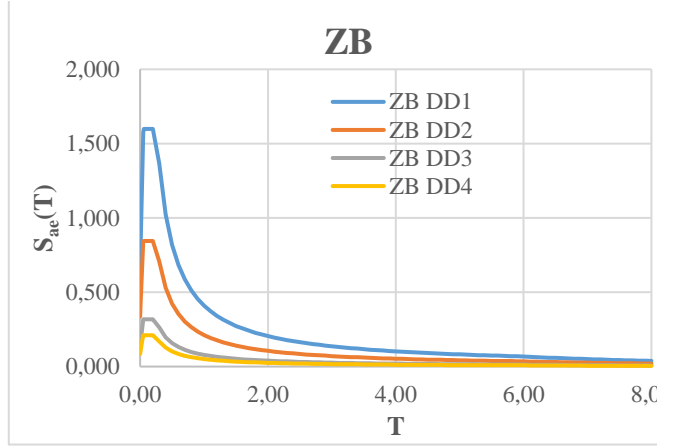
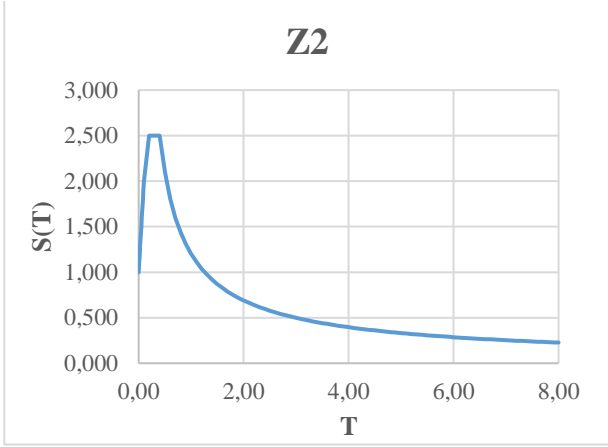
Şekil 9. Bingöl ili Z4- ZD ivme spektrumları



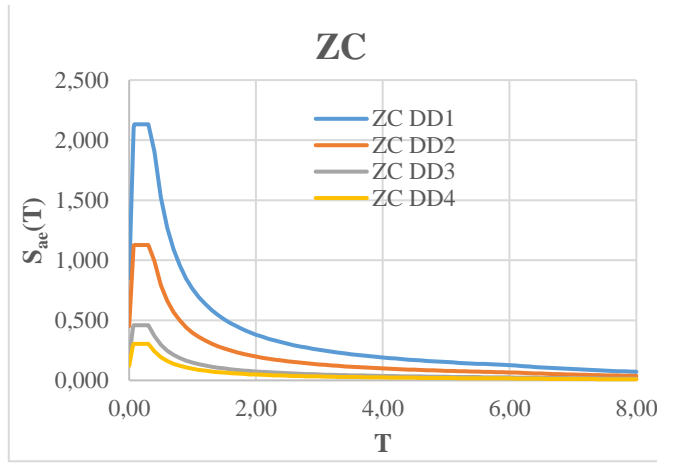
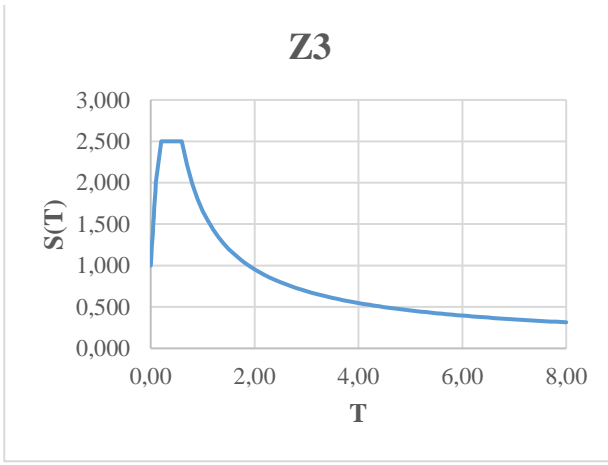
Şekil 10. Bingöl ili Z4- ZE ivme spektrumları



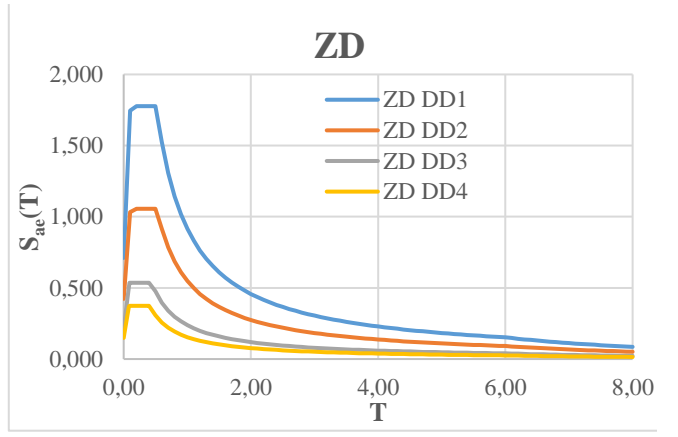
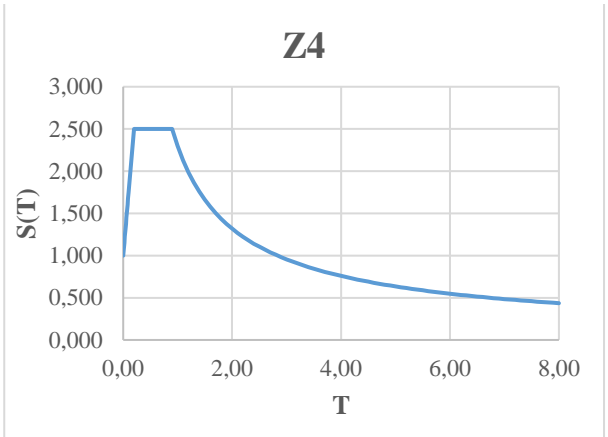
Şekil 11. Elazığ ili Z1- ZA ivme spektrumları



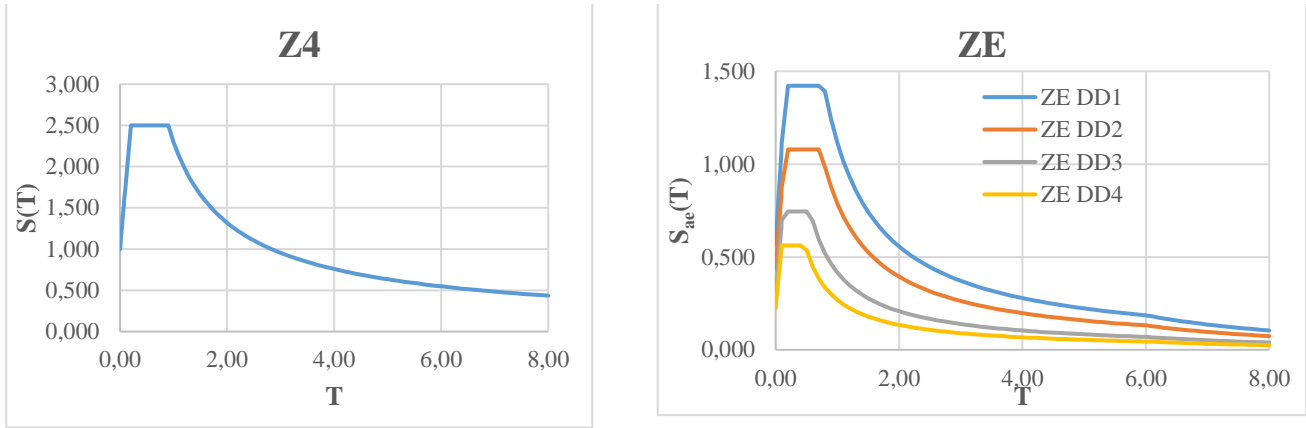
Şekil 12. Elazığ ili Z2- ZB ivme spektrumları



Şekil 13. Elazığ ili Z3- ZC ivme spektrumları



Şekil 14. Elazığ ili Z4- ZD ivme spektrumları



Şekil 15. Elazığ ili Z4- ZE ivme spektrumları

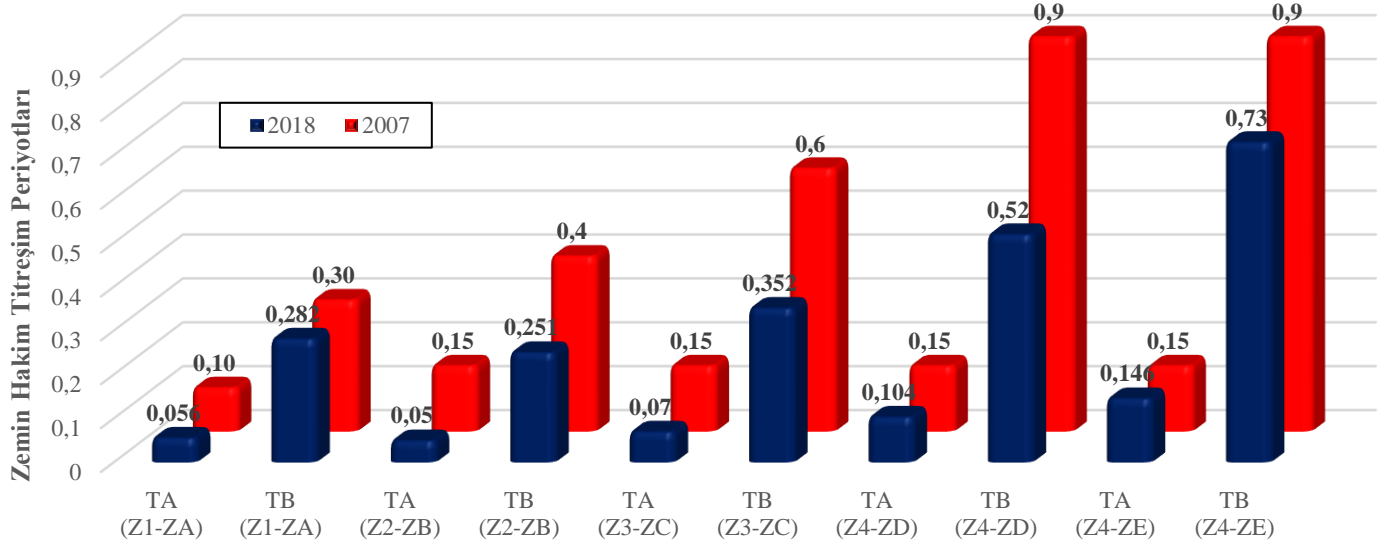
Yukarıdaki şekillerde görüldüğü üzere 2007 DBYBHY'deki ivme spektrumları tek bir spektrum eğrisi ile ifade edilirken 2018 deprem yönetmeliğinde yönetmelikte tanımlanan deprem yer hareket düzeyleri aynı zemin sınıfında 4 farklı spektrum eğrisi ile ifade edilmektedir. Bu durum 2018 TBDY'de spektrum eğrilerinin deprem yer hareket düzeylerine göre değiştiğini göstermektedir. Her iki bölge için, 2007 DBYBHY'de elastik ivme spektrumundaki köşe periyotlarının ivme değerleri sabit 2.5 değerinde iken, 2018 TBDY'de bu değer koordinata dayalı S1 ve SS parametrelerinin etkisiyle farklı zemin sınıfları ve farklı deprem yer hareket düzeyleri için değişiklik göstermektedir. 2018 TBDY'de farklı deprem yer hareket düzeylerine göre en yüksek ivme değeri DD-1'de görülmekte iken en düşük ivme değerleri DD-4'te elde edilmiştir. 2007 DBYBHY'de deprem tehlikesi tek parametre yani etkin yer ivme katsayısı (A_0) ile ifade edilmektedir. 2018 TBDY'de ise deprem tehlikesi S_S ve S_1 parametreleri ile tanımlanmaktadır. 2007 DBYBHY'de zemin koşulları TA ve TB'yi

etkilese dahi ivme spektrumunun yalnızca azalan bölgesi yerel zemin koşullarından etkilenmektedir. Ama 2018 TBDY'de TA ve TB'nin yerel zemin koşullarından etkilenmesinin yanı sıra ivme spektrumunun ivme, hız, deplasman olmak üzere 3 bölgesi de yerel zemin koşullarından etkilenmektedir. Bu etki Türkiye deprem tehlike haritalarından çalışma bölgesi için alınan parametrelerinden zemin özelliklerini ifade eden S_1 parametresi sayesinde gerçekleşmektedir.

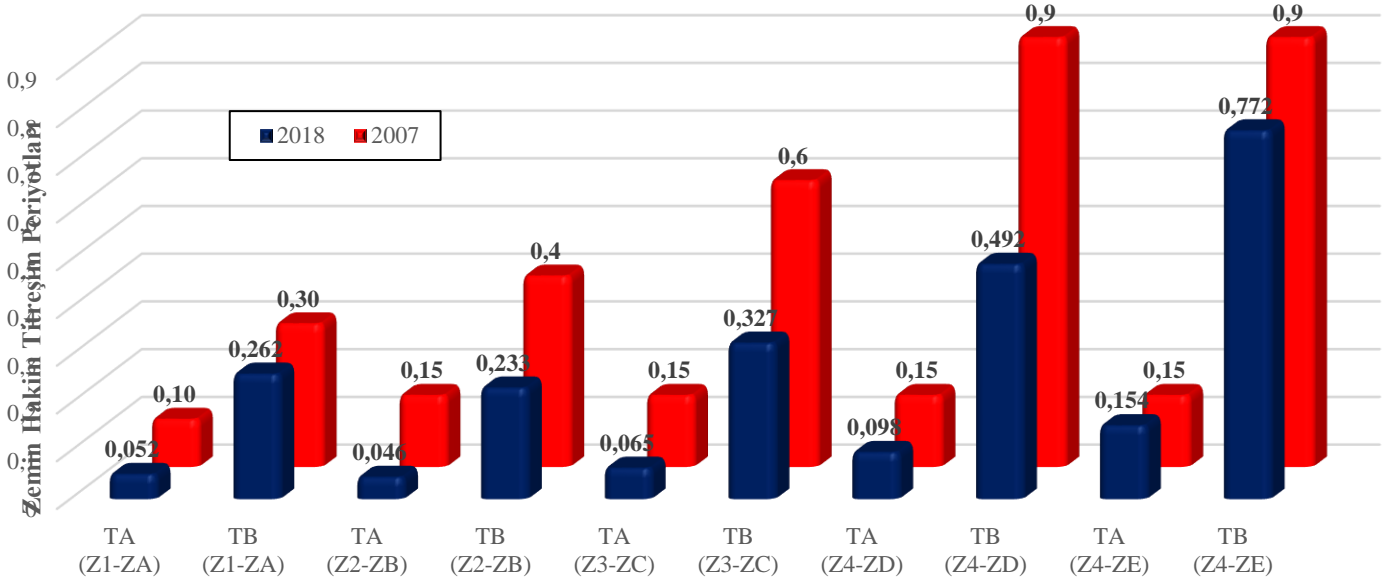
2007 DBYBHY'de spektrumun azalan bölgesindeki spektral ivme $T^{0.8}$ ile değişirken, 2018 TBDY'de T'nin tersi ile değişmektedir. Böylelikle uzun periyotlarda spektral ivme görece olarak azalmaktadır. 2018 TBDY'deki ivme spektrumunda $T_L = 6$ sn'den daha uzun periyotlarda sabit spektral yer değiştirme bölgesine geçilmekte ve bu bölgede ivme T^2 'nin tersi ile değişmektedir [14]. Bu bilgiler ışığında yukarıdaki grafikler incelendiğinde iki farklı bölgede bulunan Bingöl ve Elazığ illerinin spektrumlarının 2018 TBDY'ne göre farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Bingöl ve Elazığ ili için DD-2'ye göre köşe periyotlarının (T_A ve T_B) karşılaştırılması

DD-2	2007 DBYBHY								2018 TBDY									
	Z1		Z2		Z3		Z4		ZA		ZB		ZC		ZD		ZE	
	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B	T_A	T_B
BİNGÖL									0.056	0.282	0.050	0.251	0.070	0.352	0.104	0.520	0.146	0.730
	0.10	0.30	0.15	0.40	0.15	0.60	0.15	0.90										
ELAZIĞ									0.052	0.262	0.046	0.233	0.065	0.327	0.098	0.492	0.154	0.772



Şekil 6. Bingöl ili için DD-2'ye göre köşe periyotlarının (T_A ve T_B) değişimi



Şekil 7. Elazığ ili için DD-2'ye göre köşe periyotlarının (T_A ve T_B) değişimi

Tablo 2’de Bingöl ve Elazığ ili için DD-2’ye göre köşe periyotları verilmiştir. Köşe periyotlarının (TA ve TB) değişimi Bingöl ve Elazığ için sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17’de gösterilmiştir. Her iki grafikten de görüldüğü üzere, 2007 DBYBHY’ne göre Bingöl ve Elazığ ili ivme spektrumlarının köşe periyotları aynı değerleri almaktadır. 2018 TBDY’ne göre ise Bingöl ve Elazığ ilinin benzer zemin koşullarında köşe periyotları

SDS ve SD1 parametrelerine bağlı olduğu için farklılık göstermektedir. Koçer vd. [12] Türkiye’deki farklı bölgelerin ivme spektrumlarını inceledikleri çalışmada, 2007 deprem yönetmeliğindeki köşe periyotları bölgesel olarak değişmediği, 2018 TBDY’deki köşe periyotlarının ise bölgesel farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde verilen yerel zemin sınıfları sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. 2007 DBYBHY yerel zemin sınıfları[6]

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar...	-	-	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl....	>50	85-100	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil....	>32	-	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl....	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil....	16-32	-	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar...	-	-	<500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl...	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil...	8-16	-	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları...	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum...	<10	<35	-	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil...	<8	-	<100	<200

Tablo 4. 2018 TBDY yerel zemin sınıfları[6]

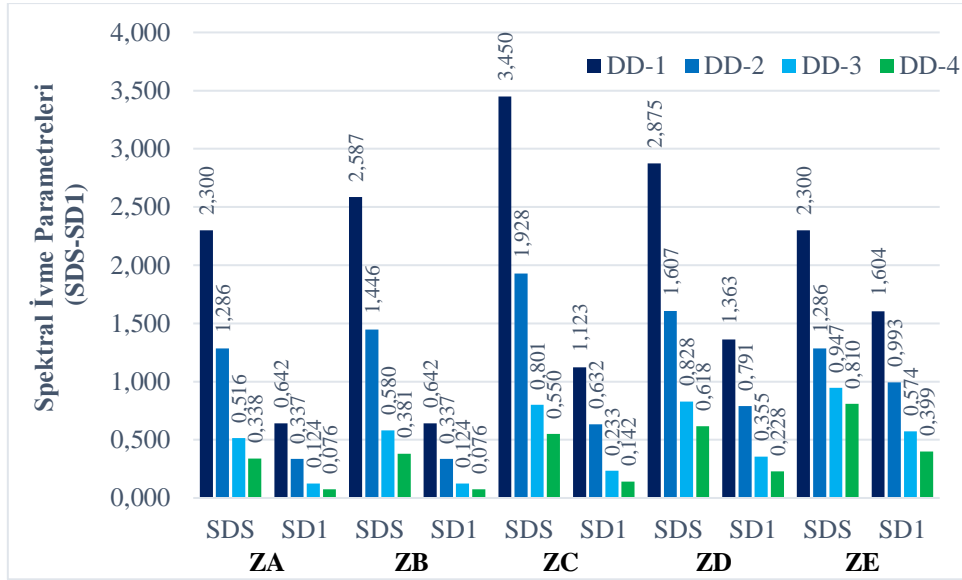
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s) ₃₀ [m/s]	(N ₆₀) ₃₀ [darbe/30cm]	(C _u) ₃₀ [kPa]
ZA	Sağlam sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek Kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya PI>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c _u <25 kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1)Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler(sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, vb.) 2)Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3)Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer 4)Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta katı killer			

Tablo 5. 2018 TBDY kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları[6]

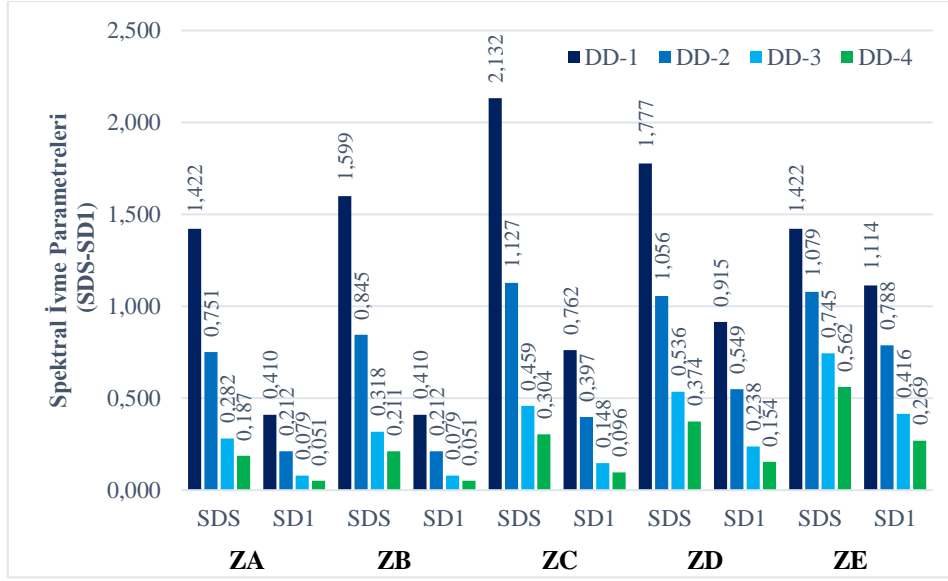
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F _s					
	S _s ≤ 0.25	S _s = 0.50	S _s = 0.75	S _s = 1.00	S _s = 1.25	S _s ≥ 1.50
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 6. 2018 TBDY 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları [6]

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.</i>					



Şekil 8. 2018 TBDY Bingöl ili için spektral ivme parametrelerinin zemin sınıfı ve deprem tasarım sınıfı için değişimi



Şekil 9. 2018 TBDY Elazığ ili için spektral ivme parametrelerinin zemin sınıfı ve deprem tasarım sınıfı için değişimi

2018 TBDY’de ivme spektrumlarının oluşturulması için kullanılan koordinata dayalı parametreler olan S_{DS} ve S_{D1} değerleri Tablo 5 ve Tablo 6’teki yerel zemin etki katsayılarına göre değişiklik göstermektedir. Şekil 18 ve Şekil 19’da sırasıyla Bingöl ve Elazığ illeri için bu değerlerin değişimi verilmiştir. Şekil 18’de Bingöl ili için verilen S_{DS} ve S_{D1} değerlerinin değişimi incelendiğinde; ZA zemin sınıfından ZC zemin sınıfına doğru S_{DS} değerlerinde bir artış meydana gelmiş iken ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına doğru gidildikçe S_{DS} değerleri azalmıştır. Bu sonuç Şekil 19’daki Elazığ ili için de geçerlidir. Fakat aynı değişim S_{D1} değerleri için geçerli değildir. Şekil 18 ve Şekil 19 incelendiğinde çalışma kapsamında ele alınan her iki bölge için S_{D1} değerleri ZA zemin sınıfından ZE zemin sınıfına doğru bir artış göstermektedir. 2018 deprem yönetmeliğinde verilen yerel zemin etki katsayıları tabloları incelendiğinde, kısa periyot ivme katsayıları için verilen F_S yerel zemin etki katsayıları (Tablo 3), S_S değerinin 1’den büyük olduğu durumlarda, ZA zemin sınıfından ZC zemin sınıfına kadar bir artış, ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına kadar bir azalma göstermesidir. F_S yerel zemin etki katsayılarındaki bu değişimin temel nedeni S_S değerinin 1’den küçük ya da büyük olma durumudur. 2018 TBDY’de verilen yerel zemin etki katsayıları tabloları incelendiğinde, uzun (1.0 sn) periyot ivme katsayıları için

verilen F_1 yerel zemin etki katsayıları (Tablo 4), S_1 değerinin ZA zemin sınıfından ZE zemin sınıfına kadar bir artış göstermektedir. Şekil 18 ve Şekil 19 incelendiğinde ele alınan bölgelerdeki zemin durumu koordinata dayalı ivme parametrelerinin değişimini doğrudan etkilemektedir.

2018 TBDY’de verilen koordinata dayalı deprem parametrelerinden S_S değeri ilgili bölgenin deprem etkisini, S_1 değeri ele alınan bölgenin zemin özelliklerini ifade etmektedir. 2018 TBDY ile birlikte verilen deprem tehlike haritaları zemin ortamının en üst 30 m’indeki ortalama kayma dalgası hızının 760 m/sn olduğu zemin durumu için oluşturulmuştur. Bu değer deprem yönetmeliğinde tanımlanan zemin sınıflandırmasında ZB ile ZC arasında bir değere karşılık gelmektedir [14]. Bu nedenle 2018 deprem yönetmeliğinde verilen yerel zemin etki katsayısı tabloları (Tablo 3, Tablo 4) ZA ve ZB yerel zemin sınıfları için bir azaltma ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için ise bir büyütme öngörmektedir. Sadece, S_S ivme parametresi için verilen F_S yerel zemin etki katsayısı değerleri S_S ’in 1 ve 1’den büyük olduğu durumlarda ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına doğru yapılması gereken büyütme oranında bir azalma göstermektedir. Bunun nedeni ivme değerlerinin büyük olduğu durumlarda ek bir zemin büyütmesinin önüne geçmektir.

Sonuçlar

Bu çalışmada 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre Bingöl ve Elazığ ilinin ivme spektrumları arasındaki farklar incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 2007 deprem yönetmeliğinde tek deprem yer hareket düzeyine göre (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan standart deprem yer hareketi) ivme spektrumu oluşturulurken, 2018 deprem yönetmeliğinde DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olmak üzere 4 farklı deprem yer hareket düzeyine göre ivme spektrumları elde edilmektedir.

- 2007 deprem yönetmeliğinde deprem bölgesi kavramı bulunurken 2018 deprem yönetmeliğinde koordinata dayalı deprem parametreleri elde etmeye olanak sağlayan deprem tehlike haritaları getirilmiştir.

- 2007 deprem yönetmeliğinde ivme parametresi olarak A_0 , etkin yer ivme katsayısı yerel zemin sınıflarına göre sabit katsayılar olarak verilmiş iken, 2018 deprem yönetmeliğinde ivme katsayıları koordinata dayalı olarak deprem tehlike haritalarından elde edilmektedir.

- 2007 deprem yönetmeliğinde köşe periyotları sabit değerler alırken, 2018 deprem yönetmeliğine göre S_{DS} ve S_{D1} parametrelerine bağlı olarak bölgesel değişmektedir.

- S_s 'in 1'den küçük olduğu değerler için verilen yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak S_{DS} değerleri sürekli bir artış gösterirken, 1 ve 1'den büyük değerleri için yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak S_{DS} değerinin ZC yerel zemin sınıfından ZE zemin sınıfına doğru artış miktarında bir azalma meydana gelmiştir.

- S_1 parametresinin bütün değerlerinde zemin sınıflarında iyi zeminden kötü zemine doğru S_{D1} parametresi sürekli bir artış göstermektedir.

- Deprem tasarım esaslarında koordinata bağlı çalışan 2018 Türk deprem yönetmeliğinde ivme spektrumları kullanılacağı konumuna göre değişiklik göstermektedir. 2007 Türk deprem yönetmeliğinde ise ivme spektrumları konuma göre değişiklik göstermemektedir. Bu nedenle

deprem tasarım esasları açısından, 2018 Türk deprem yönetmeliğindeki ivme değerlerinin, 2007 Türk deprem yönetmeliğindeki sabit ivme değerlerine kıyasla ekonomik ve emniyetli bir durum gösterdiği söylenebilir.

- Bu çalışma, ülkemizde uzun yıllardan beri kullanımda olan Deprem Binalarında Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'den Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e geçildikten sonra yapılan çalışmaların, günümüz inşaat teknolojisine uyumlu, güncel hesap yaklaşımlarıyla yapıların davranışlarını daha doğru yansıtılabildiğini göstermektedir. Çalışmanın literatürde yer alan mevcut çalışmalara kıyasla yönetmeliklerdeki ivme spektrum kavramını daha detaylı olarak açıklamakta ve örneklerle karşılaştırmaktadır. Ayrıca, çalışma ile birlikte 2018 Türk deprem yönetmeliğine göre deprem hesapları yapılırken, hesaplarda büyük öneme sahip ivme spektrumu kavramı daha kolay anlaşılacaktır.

Kaynaklar

- [1]Celep, Z.,Kumbasar, N., (2005). Betonarme Yapılar, *Beta Basım Yayın*.
- [2]Rangin, C.,Bader, A.G., Pascal, G., Ecevitoglu, B., Görür, N., (2002). Deep structure of the Mid Black Sea High (offshore Turkey) imaged by multi-channel seismic survey (BLACKSIS cruise), *Marin Geology*.
- [3]K.R. ve D.A. Enstitüsü, (2019). Türkiye'de Meydana Gelen Büyük Depremler, Kandilli Rasath. *koeri.boun.edu.tr*.
- [4]Alyamaç, K.E., Erdoğan, A.S., (2005). Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları, *Deprem Sempozyumu*. 707–715.
- [5]Nemutlu, Ö.F., Sari, A., (2019). 2018 Yeni Türk Deprem Yönetmeliği İle Amerikan Deprem Yönetmeliklerinin Deprem Hesapları Açısından Karşılaştırılması, *5th International Conference Earthquake Engineering and Seismology*., Ankara,Türkiye.

- [6] Afet ve Acil Durum Başkanlığı, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018(TBDY-2018).
- [7] Tunç, G., Tanfener, T., (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi.
- [8] Nemutlu, Ö.F., Sarı, A., (2018). Comparison Of Turkish Earthquake Code in 2007 With Turkish Earthquake Code in 2018, *International Engineering and Natural Science Conference*, Diyarbakır, pp. 14–25.
- [9] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2018). <http://tdth.afad.gov.tr>.
- [10] Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007(DBYBHY-2007), (2007).
- [11] Öztürk, D., Bozdoğan, K.B., (2013). Elastik Ötesi Spektrum Kullanılarak Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi, *SDU International Technol. Sci.* 5, 49–55.
- [12] Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Alhagri, M.G., Arslan, M.H., (2018). Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin Tbdy 2018 Ve Tdy 2007'ye Göre Karşılaştırılması, *Selçuk-Teknik Dergisi*. 17, 43–58.
- [13] Fan, X., Wang, K., Xiao, S., (2018). Large-scale parallel computation for earthquake response spectrum analysis, *Engineering Computations* 35, 800–817.
- [14] Aydınoglu, N.M., Celep, Z., Özer, E., Özaydın, K., (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Eğitim Sunumları, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*.
- [15] Housner, G.W., (1952). Spectrum Intensities of Strong-Motion Earthquakes, *Symp. Earthq. Blast Effect Structure*.
- [16] Seed, H.B., Idriss, I. M., (1982). Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquakes.
- [17] Newmark, N., Hall, W., (1982). Earthquake Spectra and Design, *EERI Monogr*.
- [18] International Building Code 2018(IBC-2018), (2018). *International Code Council*.
- [19] Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures(ASCE 7-16), (2017). *American Society of Civil Engineers*.
- [20] Fahjan, Y., Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2017), (2017). Tabanlı Tasarım Spektrumları, *İMO İzmir Şubesi*, İzmir.
- [21] Chopra, A., K., (2007). Elastic response spectrum: A historical note, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 36, 3-12.
- [22] Song, J., Chu, Y., Liang, Z., Lee, G., C., (2007). Estimation of peak relative velocity and peak absolute acceleration of linear SDOF systems, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 6(1), 1-10.
- [23] Uçar, T., Merter, O., (2012). Binaların deprem hesabında kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleriyle ilgili bir irdeleme, *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.* 2, 15-31.
- [24] Kale, Ö., Akkar, S., (2015). Tasarım spektrumu köşe periyotları ve zemin amplifikasyon katsayılarının olasılıksal sismik tehlike analizleri ile belirlenmesi, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, DEÜ- İzmir.
- [25] Yon, B., Calayir, Y., (2015). The soil effect on the seismic behaviour of reinforced concrete buildings, *Earthquake and structures* 8, 133-152.
- [26] Yon, B., Oncu, M.E., Calayir, Y., (2015). Effects of seismic zones and local soil conditions on response of RC buildings, *Gradevinar* 67, 585-596.

Betonarme Kirişlerde Makro Fiber Sentetik Katkı Kullanımının Etkileri

Effects of Using Macro Fiber Synthetic Additives in Reinforced Concrete Beams

Selçuk KAÇIN^{1*}, Fatma SOYALAN², Orhan KAHRAMAN³

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, selcuk.kacin@iste.edu.tr ORCID 0000-0001-5406-5756

² İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, fatmasoyalan.mfbel7@iste.edu.tr, ORCID 0000-0001-7065-1229

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, orhankahraman.mfbel7@iste.edu.tr, ORCID 0000-0001-5208-980X

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 20 Mart 2020

Düzeltilme: 25 Nisan 2020

Kabul: 27 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Süneklik, polipropilen lif, kiriş yüklemeye deneyi, enerji yutma kapasitesi, makro-fiber sentetik

ÖZET

Bu çalışmada, betonarme kirişlerde katkı malzemesi olarak makro-fiber sentetik donatı (MFSD) kullanımının betonarme kirişlerin davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla şahit betonarme kirişler ve hacimce % 0,6 MFSD katkılı betonarme kirişler hazırlanmıştır. Tüm kirişlerin boyutları 150x230x1400 mm olarak tasarlanmıştır. Kirişlerin; enine donatı aralığı, mesnetler arası uzaklığı, kesme açıklığı, kiriş etkili yüksekliği gibi tüm fiziksel özellikleri birbirleriyle aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kirişlerde çekme donatısı 2Φ14, basınç donatısı 2Φ12 ve enine donatı olarak da Φ8 S420 çeliği kullanılmıştır. Şahit numunelerde su/çimento oranı 0,5 olacak şekilde karışım hesapları yapılmıştır. Makro-fiber sentetik katkılı betonlarda ise şahit beton karışım miktarının hacimce % 0,6'sı kadar MFSD ilave edilerek diğer tüm özellikler aynı tutulmuştur. Üretilen betonların 28 günlük basınç dayanım testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişler 3 noktalı yüklemeye tabi tutularak kirişlerin altında orta noktasına denk gelecek şekilde yerleştirilen deplasman ölçerden alınan verilerle yük (kg)-deplasman (mm) grafikleri çizilmiştir. Deney sonunda, kirişlerde oluşan çatlaklar ve yük (kg)-deplasman (mm) grafikleri incelenerek, şahit betonarme kirişlerin ve MFSD katkılı betonarme kirişlerin; çatlak oluşumu, çatlak genişlikleri, kırılma düzeni, enerji yutma kapasitesi, dayanım ve deplasman miktarları karşılaştırılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.706338

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 May 2020

Revised: 25 April 2020

Accepted: 27 April 2020

Keywords:

Ductility, polypropylene fiber, beam loading test, energy absorption capacity, macro-fiber synthetic.

ABSTRACT

In this study, the effects of the use of macro-fiber synthetic reinforcement (MFSD) as an additive material in reinforced concrete beams on the behavior of concrete beams were investigated. For this purpose, reinforced concrete beams and 0,6% by volume MFSD reinforced concrete beams were prepared. The dimensions of all beams are designed as 150x230x1400 mm. the beams; It is designed so that all physical properties such as transverse reinforcement spacing, aperture between supports, cutting span, beam effective height are the same. Tension reinforcement 2Φ14, pressure reinforcement 2Φ12 and Φ8 S420 steel were used as transverse reinforcement in all beams. In the concrete mixtures used in the study, CEMI 42,5 cement, coarse (4-11 mm) aggregate, fine (0-4 mm) aggregate and water were used. Mixing calculations were made with a water/cement ratio of 0.5. In macro-fiber synthetic reinforced concrete, 0.6% of the amount of concrete mixture is added with the volume of MFSD and all other properties are kept the same. 28-day compressive strength test results of the concretes produced were compared. Reinforced concrete beams are subjected to 3-point loading test and load (kg) -displacement (mm) plots were drawn with the data obtained from the displacement meter placed under the beams corresponding to its mid-point. At the end of the experiment, cracks formed in beams and load (kg)-displacement (mm) graphs are examined and witnessed reinforced concrete beams and reinforced concrete beams with MFSD; crack formation, crack widths, breaking order, energy absorption capacity, strength and deformation amounts were compared.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Selçuk KAÇIN ✉ selcuk.kacin@iste.edu.tr

Giriş

Beton su, çimento ve agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Yol, konut, tünel, köprü, baraj ve su yapıları gibi birçok alanda özellikle taşıyıcı elemanların tasarımında çokça tercih edilen ve kullanım alanı giderek genişleyen önemli bir yapı malzemesidir fakat fazlaca tercih edilmesine rağmen her özelliğiyle mükemmel bir malzeme değildir. Yapıların maruz kaldığı deprem yükü, rüzgâr yükü, donma- çözülme gibi olumsuz etkilere karşı beton tek başına dayanım sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Bunun en belirgin örneği çekmeye karşı mukavemetinin ihmal edilebilecek kadar az olması ve bu mukavemeti elde edebilmek için taze betona demir donatılar ilave edilmesidir. Betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözölmeye karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özelliklerini iyileştirmek için geçmişten günümüze deneysel çalışmaların ışığında çeşitli katkı malzemelerinin betonun davranışına etkisi araştırılmıştır ve hala da araştırılmaktadır. Betonun kullanımının yaygınlaşması 1900'lü yıllarda hazır beton üretimini başlatırken, ilerleyen teknoloji sayesinde yukarıda saydığımız özelliklerin iyileştirilmesi adına beton karışımlarında kimyasal ve mineral katkı malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu süreci beton karışımlarında lif ve daha birçok malzeme kullanımı takip ederek yüksek performanslı betonlar üretilmeye başlanmıştır. [1].

Yapılar, yapılmaya başlandığı andan kullanım ömrü nihayet bulana dek birçok yük ve olumsuz etkiye maruz kalmaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözölmeye karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özellikleri iyileştirilmediği takdirde ne yazık ki yapılarda büyük çatlaklar, kalıcı deformasyonlar ve taşıyıcı sistemin tamamen çökmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bir mühendis olarak amacımız yapının maruz kaldığı olumsuz etkilere karşı durabilitesini arttırmak, deformasyonlara karşı direnç sağlamak ve olası bir yıkım halinde can kaybını minimuma

indirecek yapılar tasarlamaktır. Bu amaç doğrultusunda literatürde; polipropilen lif [2-4], karbon lif [5], cam lif [6], çelik lif [7-12] ve makrosentetik lif [13] gibi katkı malzemeleri ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu katkı malzemeleri ile gevrek kırılmaları engellemek, yapılara sünek davranış kazandırmak, yapıların yük altında sönümlendiği enerji miktarını arttırmak, deformasyonları minimuma indirmek, basınç ve çekme dayanımını arttırmak, betonun tüm özelliklerini daha da iyileştirmek hedeflenmektedir.

Cucchiara [14] yaptığı çalışmada; betonarme kirişlere yapılan çelik lif takviyesinin çatlak genişliğini azalttığını vurgulamıştır. Kirişlerde enine donatı ve çelik lif kullanılması durumunda; enine donatının kesitin şekil değiştirme özelliğini arttırdığını, enine donatı kullanılan kirişlerin harcına çelik lif katıldığında kiriş kesme dayanımının olumlu etkilendiğini ve çelik lif katkı malzemesinin enine donatı gibi kesme kuvvetine karşı mukavemet sağlayabileceğini belirtmiştir.

Karabulut [15]; sentetik lif ile üretilen ultra yüksek dayanıma sahip betonun eğilme davranışı 14 farklı numune üzerinden test etmiştir. 100X150X1500 mm boyutlarındaki kiriş numunelerinde 2 farklı donatı oranı (2φ10 ve 2φ14), 2 farklı lif tipi (bazalt ve poliamid), 3 farklı lif oranı (%0.5, %1.0 ve %1.5) kullanılmıştır. Düşük donatı oranında (2φ10) bazalt lifinin miktarının artışıyla sünek davranışın da arttığı gözlenmiştir. Yüksek donatı oranında (2φ14) bazalt lifi artışının sünek davranışa etkise gözlemlenmemiştir. Poliamid lif kullanılması durumunda düşük donatılı betonda lif miktarının artışıyla yük taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenirken, yüksek donatılı (2φ14) betonda ancak en yüksek lif oranı eklendiğinde yük taşıma kapasitesinde artış görülmüştür. İki katkı maddesi birbiriyle karşılaştırıldığında; her ikisinin de betonun rijitliğini arttırdığı, düşük donatı oranına (2φ10) sahip betonlarda sünekliği arttırdığı, poliamid lifin düşük donatı oranına (2φ10) sahip betonlarda bazalt lifine oranla taşıma gücü kapasitesinde daha fazla artış sağladığı gibi birçok sonuca ulaşılmıştır.

150X200X1900 mm boyutlarında kirişlerle yapılan çalışmada çelik lif katkısının çatlaklar ve taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm kiriş numunelerinin boyutları 150X200X1900 mm, boyuna donatı oranı $\rho_l=0.0067$ (4 Φ 8), enine donatı oranı $\rho_w=0.00586$ ve son olarak enine donatı aralığı test bölgesi dışında 50 mm, test bölgesinde 200 mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Boyutları ve özellikleri verilen bu kiriş numunelerine %0.3 ve %0.6 olmak üzere iki farklı oranda çelik lif katkısı ilave edilmiştir. Böylelikle çelik lif katkısı hacminin çatlak ve taşıma gücüne etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %0.3 hacimde çelik lif katkısının taşıma kapasitesine kayda değer bir etkisi gözlemlenmezken %0.6 hacimde eklenen çelik lifin taşıma kapasitesine kayda değer ve olumlu bir etki ettiği görülmüştür, çelik lif katkısı arttıkça çatlaklar artmakta, ortalama çatlak genişlikleri ise azalmaktadır. Bu durum ise çelik lif katkılı betonarme kirişlerin burulma altında enerji yutma kapasitelerinin arttığını göstermektedir [16].

Bu çalışmada kopolimer bir yapıya sahip olan makro fiber sentetik (MFSD) donatı kullanılarak betonun davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir. 2 farklı beton karışımı hazırlanarak aynı donatı düzenine ve kesit ölçülerine sahip betonarme kirişler hazırlanmıştır. Beton karışımının ilki hiçbir katkı malzemesi kullanılmayarak yalnızca su, çimento ve agrega ile hazırlanmıştır. İkinci beton karışımında ilk beton karışımının özelliklerine sadık kalınarak ilkinden farklı olarak hacimce %0,6 oranında MFSD katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Yapılan 3 noktalı yükleme deneyi sonucunda elde edilen bulgular karşılaştırılarak MFSD kullanımının çatlak oluşumu, kırılma düzeni, enerji yutma kapasitesi ve dayanımı nasıl etkilediği yorumlanmıştır.

DeneySEL çalışMA

Numunelerin hazırlanmasında iki farklı seri beton harcıyla 4 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişler Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 olarak adlandırılmıştır. Her iki seri beton karışımında su/çimento oranı, iri ve

ince agrega oranları, çimento tipi ve dozajı sabit tutulmuştur. Beton karışımlarında CEM I-42,5/R tipi Portland Çimentosu ($d= 3,1 \text{ kg/dm}^3$) kullanılmıştır.



Şekil 1. Katkı malzemesi olarak kullanılan sentetik fiber malzeme

0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin harcına hacimce %0,6 oranında makro fiber sentetik donatı (MFSD) ilave edilmiştir (Şekil 1). MFSD'ye ait teknik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. MFSD teknik özellikleri

Karakteristik	Malzeme Özelliği
Ham Madde	%100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 - 750 MPa
Elastisite Modülü	5,75 GPa
Yüzey Dokusu	Deforme Edilmiş Yüzey
Fiber Sayısı	220.000 Parça/kg
Yoğunluk	0,91 g/cm ³
Erime Noktası	162-168 °C
Yanma Noktası	398 °C
Su Emilimi	Sıfır
Asit / Alkali	Mükemmel
Direnci	
Standart	ASTMC-1116

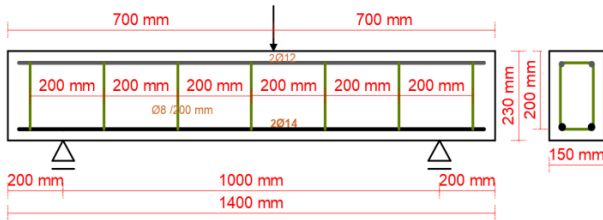
Şahit1 ve Şahit2 olarak adlandırılan kirişlerde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır.

Beton karışım oranları Tablo 2’de detaylı olarak verilmiştir. Bu miktarlar bir kiriş için yani 0.048 m³ beton için kullanılan değerlerdir.

Tablo 2. Beton karışım oranları (bir kiriş için 0.048 m³betonda kullanılan değerler)

Bileşen	Şahit Numuneler	MFSD Katkılı Numuneler
Çimento	28.22 kg	28.22 kg
İnce Agregası (0-4 mm)	50.66 kg	50.66 kg
İri Agregası (4-11 mm)	33.86 kg	33.86 kg
Su/çimento	0.5	0.5
MFSD	-	0.312 kg

Tüm kirişlerin boyutları 150x230x1400 mm, enine donatı aralığı 200 mm, mesnetler arası uzaklık 1000 mm, kesme açıklığı 500 mm, kiriş etkili yüksekliği 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kirişlerde çekme donatısı 2Φ14, basınç donatısı 2Φ12 ve enine donatı olarak da Φ8 S420 çeliği kullanılmıştır. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni Şekil 2’de gösterilmiştir. Kirişlerin rahat taşınabilmesi için üst yüzeyine iki adet kanca yapılmıştır (Şekil 7).



Şekil 2. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni

Beton karışımları beton mikseri ile laboratuvarımızda hazırlanmıştır. MFSD katkılı harçlar hazırlanırken homojen bir karışım elde edebilmek için çimento, agrega ve MFSD 1 dakika kuru halde mikserde karıştırılmış (Şekil 3) ardından su eklenerek tamamen homojen olana kadar 5 dakika karıştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Beton karışımına MFSD katılması



Şekil 4. MFSD katkılı beton karışımı

Beton harçlarından 150X150X150 mm küp numuneler alınarak 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Küp numunelerin basınç dayanım testi

Basınç dayanımı test sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. 150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımı

Karışım No	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Şahit	36.584
MFSD	39.72

Hazırlanan harçlar yağlanan ve 3 cm pas payı bırakılarak donatısı yerleştirilen kalıplara dökülüp kalıba homojen yerleşmesi sağlanmıştır, kalıplar işkencelerle sıkıştırılarak kalıpların esneme yapması engellenmiştir (Şekil 6).



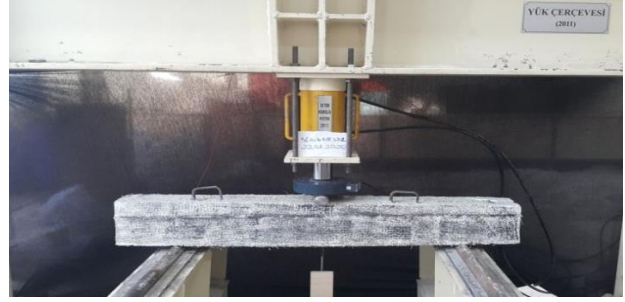
Şekil 6. Betonun kalıplara dökülmesi

7 günlük düzenli kür işlemi ardından kirişler kalıplardan çıkartılmıştır ve 28 gün boyunca kür işlemine devam edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. 7 günlük kür işlemi ardından kalıptan çıkarılan kirişler

Kirişler 28 günlük dayanım kazandıktan sonra 3 noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Yük hücresi; kirişin tam ortasından, mesnetlerin merkezine uzaklığı 500 mm olacak şekilde kirişin üzerine yerleştirilmiştir. Deplasman ölçer yine kirişin orta noktasına denk gelecek şekilde yük hücresinin düşeyine yerleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Kirişlerin yük çerçevesine yerleştirilmesi

50 KN kapasiteli yük hücresi ile kiriş göçme noktasına gelene kadar yükleme yapılmıştır. Yükleme sırasında yük hücresinden ve deplasman ölçerden alınan veriler bilgisayara aktarılmış (Şekil 9) ve her bir kiriş için yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir.

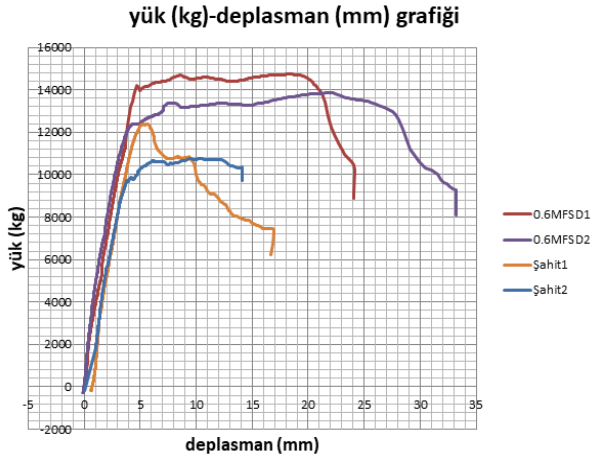


Şekil 9. 3 noktalı yükleme deneyi ve verilerin toplanması

DeneySEL bulgular

Katkısız ve hacimce %0,6 MFSD katkılı betonlarla hazırlanan betonarme kirişler üzerinde yapılan deneysel çalışma bulguları şöyledir:

- 3 noktalı yükleme deneyi sonunda yük (kg)-deplasman (mm) grafiği elde edilmiştir (Şekil 10).



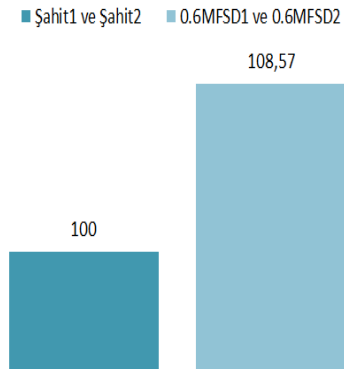
Şekil 10. Yük (kg)-deplasman (mm) grafiği

- Şahit1 kirişinin taşıyabildiği maksimum yük 12,381 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 5,217 mm olarak okunmuştur.
- Şahit2 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 9,862 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 4,185 mm olarak okunmuştur.
- 0.6MFSD1 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 14,735 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 18,221 mm olarak okunmuştur.
- 0.6MFSD2 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 13,868 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 21,975 mm olarak okunmuştur.

Sonuçlar

Beton harçlarından alınan 150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında (Şekil 11) MFSD katkılı betonun basınç dayanımının %8,57 arttığı görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımları (%)



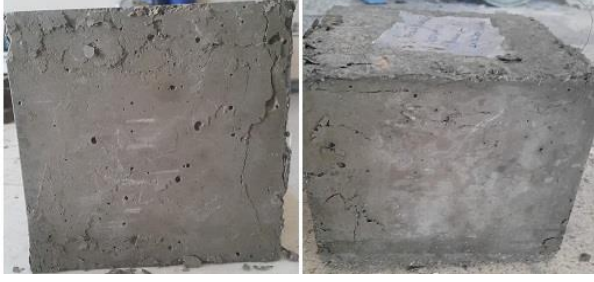
Şekil 11. Küp numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra deformasyonları karşılaştırılmıştır. Şahit1 ve Şahit2 betonlarından alınan küp numunelerinin köşelerinde kırılmalar, dağılmalar, dökülmeler ve gözle görülebilir deformasyonlar meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Şahit1 ve Şahit2 küp numunelerinin basınç dayanımı test edildikten sonraki durumları

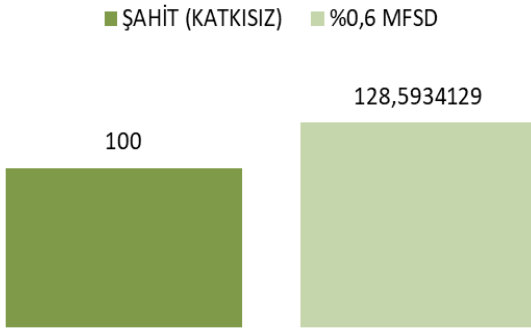
0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 betonlarından alınan küp numunelerde kılcal çatlaklar olduğu ve şahit beton numunelerine oranla çok daha az deformasyon olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13 .0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 küp numunelerinin basınç dayanımı test edildikten sonraki durumları

3 noktalı yükleme deneyi sonrasında şahit kirişlerin betonu kolayca parçalanabilirken MFSD katkılı kirişlerin içerisindeki liflerin bu parçalanmaya ve kopmalara karşı direnç sağladığı görülmüştür. 3 noktalı yükleme deneyi sonrasında kirişlerin yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında MFSD katkısının yük taşıma kapasitesini yaklaşık %28,59 oranında arttırdığı görülmüştür (Şekil 14).

Kirişlerin yük taşıma kapasiteleri (%)



Şekil 14. MFSD katkısının kirişlerin yük taşıma kapasitesine etkisi

Şekil 15.'de sırasıyla Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin 3 noktalı yükleme deneyi sonrası durumları görülmektedir.



Şekil 15. Sırasıyla; Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin 3 noktalı yükleme deneyi sonrası durumları

Elde edilen yük (kg)–deplasman (mm) eğrilerinin (Şekil 9) altında kalan alan incelendiğinde MFSD katkılı kirişlerin, şahit yani katkısız kirişlere oranla daha büyük bir enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Elde edilen yük (kg)–deplasman (mm) eğrilerine (Şekil 10) ve çatlak oluşumlarına (Şekil 12) bakıldığında Şahit1 ve Şahit2 kirişlerinin gevrek kırıldığı, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin ise daha sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu deneysel çalışmada elde edilen görseller ve yük (kg)–deplasman (mm) eğrileri ışığında hacimce %0.6 MFSD katkısının süneklik ve enerji yutma kapasitesini arttırdığı, deformasyonları minimuma indirebildiği, yük taşıma kapasitesinde ve küp numunelerin basınç dayanımında artış sağladığı sonuçlarına varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Karakule, F., Akakın, T., & Uçar, S. (2004). “Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü”
- [2] Aryan, A. (2014). “Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması”, Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabaci, S., & Başyigit, C. (2010). “Polipropilen Lif Katkili Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri”, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2(1), 9-14.
- [4] Yaprak, H., & Karacı, A. (2009). “Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 1(2), 23-28.
- [5] Topçu, İ. B., Demirel, O. E., & Uygunoğlu, T. (2017). “Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri”, Politeknik Dergisi, 20(1), 91-96.
- [6] Çetinkaya, N., Kaplan, H., & Şenel, Ş. M. (2011). “Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(3), 291-298.
- [7] Birincioğlu M. İ., (2016). “Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti”, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [8] Kozak, M. (2003). “Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik bilimler Dergisi, 3(5), 26-35.
- [9] Can Ö., Durmuş G., Subaşı S., Yıldız K., Arslan M., (2009). “Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- [10] Koç, V., & Birinci, F. (2012). “Lifli Betonda Boyut Etkisi Tokluk ve Kırılma Enerjisi”, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4(3), 24-40
- [11] Çivici, F. (2006). “Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 183-188.
- [12] Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., & Kamuran, A. R. I. (2006). “Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme ile Davranışlarının İncelenmesi” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 22(1), 112-120.
- [13] Sarı M., (2013). “Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi”, Y. Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [14] Cucchiara, C., La Mendola, L., & Papia, M. (2004). “Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement”, Cement and concrete composites, 26(7), 777-786.
- [15] Karabulut, M. Y. (2017). “Sentetik lifin ultra yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin eğilme davranışına etkisinin incelenmesi”, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] Okay, F., & Engin, S. (2009). “Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerde Basit Burulma Etkisinde Oluşan Çatlakların ve Kesit Taşıma Gücünde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi” Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumunu, 1-3 Ekim, Sakarya

Suriyeli Göçmen ve Türk Vatandaşı Ailelerde, Eysel Atık ve Geri Dönüşüm Özelliklerinin Karşılaştırmalı Analizi

Comparative Analysis of Domestic Waste and Recycling Properties in Syrian Immigrant and Turkish Citizen Families

Hakkı Gülşen¹, İbrahim Yenigün^{2*}

¹ Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, hgulsen@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Şanlıurfa, ibrahimyenigun@hotmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 24 Mart 2020

Düzeltilme: 25 Nisan 2020

Kabul: 26 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Göçmen, evsel atık, geri dönüşüm

ÖZET

Günümüz dünyasının en büyük sıkıntılarında biri de göç olaylarıdır. 2011 yılında Suriye’de baş gösteren karışıklıklar nedeniyle başlayan göç olayları ise II. Dünya Savaşı’ndan bugüne, dünyada yaşanan en büyük göç sorunu olarak kabul edilmektedir. Yüzyılın dramatik olaylarından biri olarak ortaya çıkan bu göç olayından, en çok Türkiye ve de özellikle Türkiye’nin Suriye’ye sınırı olan şehirleri etkilenmiştir. Bu etkileşim, kendini ekonomik, sosyal, güvenlik, toplumsal ve daha birçok alanda negatif olarak göstermiştir. Yaşananlar, ülke gündemine, çözüme kavuşturulması gereken birbirinden önemli sorunları taşımıştır. Problemler listesinin en önde gelenlerinden biri de artan göçmen nüfusuna bağlı her geçen gün artış gösteren çevresel konularla ilgili problemlerdir. Birçok konuda kirlenme yükünün artmasına sebebiyet veren göçmen nüfus artışı, çözümlerin getirilmesi adına, konunun her yönden incelenmesi, araştırılması ve gelecek planlamaların yapılması adına veri teminini zorlu kılmıştır. Bu düşünceden hareketle yapılan çalışmada, göçmen ailelerin evsel atık ve geri dönüşüm konusundaki özelliklerini ortaya çıkarmak ve mevcut yerli aileleriyle karşılaştırılmasına ait verilerin oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışma ile Suriye’den gelen göçmen ailelerin Türk ailelerin yaşam tarzlarıyla benzerlik gösterdiği ve buna bağlı olarak da günlük davranış, beslenme ve sonucunda oluşan atık miktar ve özelliklerinin anlamlı farklılık göstermediği ortaya konmuştur. Elde edilen verilere bağlı olarak da, ülkemizin mevcut durumunu olduğu kadar yarınlarını da büyük ölçüde ilgilendiren yorum ve önerilerde bulunulmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.708636

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24 March 2020

Revised: 25 April 2020

Accepted: 26 April 2020

Keywords:

Immigrant, household waste, recycling

ABSTRACT

One of the biggest problems of today's world is migration events. The emigration events that started in 2011 due to the upheavals in Syria were carried out by the II. Since World War II, it is regarded as the biggest migration problem in the world. Century's dramatic events emerged as one of the events of this migration, the most affected city, especially Turkey and Turkey's border with Syria. This interaction has shown itself to be negative in economic, social, security, social and many other areas. The events brought to the agenda of the country important problems that need to be resolved. One of the foremost issues in the list of problems is the increasing environmental problems associated with the increasing immigrant population. The increase in the population of migrants, which caused an increase in the burden of pollutants on many issues, made it necessary to provide data in order to bring about solutions, to examine, investigate and make future plans in all aspects. In this study, it is aimed to reveal the characteristics of migrant families about household waste and recycling and to create data for comparison with existing domestic families. The study revealed that immigrant families coming from Syria show similarities with the Turkish families' lifestyles and accordingly, daily behavior, nutrition and the amount and characteristics of waste generated as a result do not differ significantly. Depending on the data obtained, comments and suggestions have been made, which concern the current situation of our country as well as the future.

* Sorumlu yazar / Correspondence

İbrahim YENİGÜN

✉ ibrahimyenigun@hotmail.com

Giriş

İnsanlık tarihi, çeşitli nedenlerden kaynaklı sayısız göç olaylarına tanıklık etmiştir. 20. Yüzyılda ortaya çıkan göç olayları ise en çok iki ülke arasındaki savaş ve iç karışıklıklardan dolayı gerçekleşmiştir. Bu tip zorunlu göçler, diğer nedenlerden kaynaklanan göç olaylarından farklılık göstermektedir [1]. Savaş ve benzeri sebeplerden kaynaklı yaşanan göçler, daha yoğun gerçekleşmekte, bağlı olarak etkilerini daha büyük ve uzun vadeli olarak yansıtmaktadır. Özellikle ekonomik, sosyolojik, güvenlik ve toplumsal boyutlarıyla yaşanan etkileri, hayati boyuttadır. Bu durum, göç ve göçmenler konusunu ülkelerin gündem maddelerinde öne çıkarmakta, ülkelerin sadece mevcut hallerini değil yarınlarını da oldukça yakından ilgilendirdiği için etkili ve köklü çözümlerin getirilmesini de zorunlu kılmaktadır.

Göç hareketleri sonrası birtakım sorunlar yaşayan göçmenler, sığındıkları devletlerde de önemli problemlerin öznesi konumunda olmaktadır [2]. Ev sahibi ülkelerde yaşanan problemlerin kriz boyutuna dönüştüğü hususlardan biri de çevresel problemlerdir. Hedef ülkelerde artan göçmen nüfusuna bağlı, çevresel problemler de artan bir ivmeyle kendini göstermektedir. Dolayısıyla, göçlerin çevresel boyutta yaşattıklarının yeni bir bakış açısıyla ve detaylıca ele alınması hayati önem kazanmaktadır. İncelenmesi ve çeşitli önlemlerin alınmasını gerektirecek bu hususlardan biri de, yoğun göçmen nüfusuna bağlı atık tesislerine tahmin edilenden çok daha fazla yük binmesine ve tesislerdeki işletme problemlerine sebep olan evsel atıklardır [3]. Bununla birlikte, günümüzde çevre ve kaynakların korunması, verimlilik artışı ve kirlenmenin önlenmesi gibi başlıca faydalarından dolayı atık yönetim sistemlerinin ciddi olarak ele alındığı bilinen önemli bir gerçektir. Bu düşünceden hareketle yapılan çalışmada, göçmen ailelerin evsel atık ve geri dönüşüm konusundaki özellikleri, davranış modelleri ortaya çıkartılmış, mevcut yerli aileleriyle karşılaştırılmış ve sonuç bilgileri sunulmuştur. Ayrıca, yerli ve Suriyeli ailelere ait geri dönüşüm atıklarının benzer ve farklılıkları ortaya konularak, konuyla ilgili yorumlar getirilmiştir.

Türkiye ve Suriyeli Göçmenler

XX. yüzyılın son yarısında göç olaylarının çokça yaşandığı dünyamızda, neredeyse tüm devletlerin göçten çeşitli oranlarda etkilendiği gözlenmektedir. Özellikle uluslararası göç hareketleri, çok sayıda ülkeyi eş zamanlı etkilemekte ve çözüme kavuşturulması gereken sorunlar olarak devletlerin gündemine taşımaktadır. Son elli yıllık süreç incelendiğinde, dünya genelinde iki yüz milyon civarında göçmen olduğu bilinmektedir. Yapılan tahminlere göre ise 2050’de dünyadaki göçmen sayısının 405 milyona ulaşacağı beklenmektedir [4].

Türkiye, oldukça büyük öneme sahip konumuna bağlı, tarihi boyunca toplu göç olayları da dâhil olmak üzere büyük göç hareketlerinin yaşandığı bir bölge olmuştur. Özellikle, 2010 yılında Suriye’de başlayan iç savaş sonrası, 2011 yılından itibaren Suriyeli mültecileri misafir eden Türkiye, Arap Baharı’ndan ciddi oranda etkilenmiştir. Sayıları beş milyonu aşan insan grupları, başta Türkiye olmak üzere Lübnan, Ürdün, Irak gibi ülkelere göç etmiştir.

Suriyeli mültecilerin Türkiye’de büyük ölçüde yaşadığı şehirlerin dağılımı ele alındığında, Suriye’ye komşu olmalarından kaynaklı Güneydoğu kentlerinin ön plana çıktıkları izlenmektedir (Şekil-1). Göç idaresinin 2019 yılı istatistik verilerine göre, Suriyeli göçmenlerin en çok bulunduğu ilk üç kent sırasıyla İstanbul, Gaziantep ve Şanlıurfa olmuştur. Bu gerekçeyle de çalışma alanı olarak, 430537 Suriyeli göçmen barındıran ve buna bağlı sıralamada üçüncü il olan Şanlıurfa ili seçilmiştir.



Şekil 1: İllere göre Suriyeli sığınmacı sayıları [5].

Evsel Atık ve Geri Dönüşüm

Atıklar, insan aktiviteleri sonucu oluşan, kullanılamaz hale gelmiş ve istenmeyen maddeler olarak tanımlanmaktadır. İnsanlığın ilk varoluşuyla başlayan atık oluşumu, ilk dönemlerde sorun oluşturmazken, artan nüfus ve azalan araziye bağlı büyük problemler arasında kendine yer bulmaktadır [6].

Günümüz dünyasında kentleşme, nüfus artışı, sanayileşme, konforlu yaşam ve bağlı olarak değişen tüketim anlayışı ile ortaya çıkan atıklar, insanoğlunun geleceğini, sağlığını ve çevresini olumsuz olarak etkilemektedir [7]. İnsanoğlunun aşırı ve artan tüketimi, doğanın kendini yenileme kapasitesini aşmakta, çevre problemlerini çözülmesi zor boyutlara taşımakta ve bu yenileme gücünü ortadan kaldırmaktadır [8]. Dolayısıyla, atıkların ve zararlı etkilerinin minimum seviyeye indirilmesi, kaynakların etkin ve yeniden kullanımının sağlanması, gelecek nesillere ulaştırılması, devletlerin zorunlu ve öncelikli halletmesi gereken meseleleri olarak ortaya çıkmaktadır [9]. Bu bağlamda da çözüm ve sürdürülebilirlik stratejileri olarak azaltma (reduction), yeniden kullanım (reuse) ve geri dönüşüm (recycling) uygulamalarından oluşan 3R stratejisi etkin metot olarak benimsenmektedir. Azaltma uygulaması; malzeme kullanımını, sanayi atıklarını daha az paketleme yapmak, ürünleri koruyarak ömürlerinin uzatılmasını amaçlamaktadır. Yeniden kullanım; ürünün aynı döngü içinde tekrar kullanımının sağlanmasıdır. Geri dönüşüm ise ürün atık malzemelerinden tekrar üretilmesinin sağlanmasıdır. Atık kağıtların yeniden kağıda dönüştürülmesi, atık cam şişelerin tekrar cam haline dönüştürülmesi uygulamaları başlıca örneklerindedir [10]. Bu uygulamalardan geri dönüşüm yöntemi, gerçekleşmesindeki önemli görevi özellikle tüketici ayağına yüklemekte, bu sebepten dolayı çalışma konumuzun başlığını teşkil etmektedir.

Çalışma konusuna esas teşkil eden Suriyeli göçmen nüfusun oluşturduğu atık ise Türkiye'deki atık tesislerine öngörülemez büyük bir baskı oluşturmuş, başta evsel atıklar olmak üzere tüm atıkları içine alan entegre yaklaşımları gerekli kılmıştır.

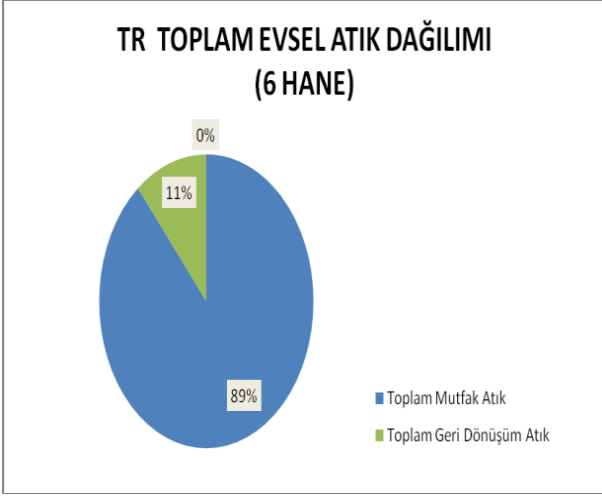
Materyal ve Metot

Şanlıurfa'da yaklaşık yarım milyon Suriyeli vatandaş yaşamakta olup bununla beraber Şanlıurfa şehrinin toplam nüfusu iki milyonu aşmaktadır. Bu veriler ışığında çalışma alanı olarak Şanlıurfa seçilmiştir. Artan nüfusla beraber toplam çöp miktarı, toplama-taşıma maliyeti artmış, düzenli depolama alan ihtiyacı, kalifiye eleman ve işçi sayısının artmasının yanında makine ve ekipman ihtiyacı da artmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak adına çevre bilinci, çevre sağlığı, insan refahı, sürdürülebilirlik konuları esas alınarak çalışmanın yapılması kararlaştırılmıştır. Suriyeli vatandaşların evsel çöpleri ile Türk vatandaşlarının evsel çöpleri içindeki geri dönüşüm atıklarının miktar, tür ve oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

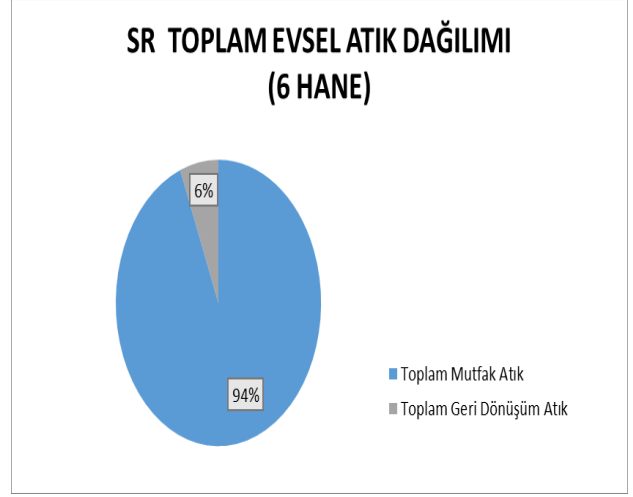
Tespit edilen tüm bu gereksinimler doğrultusunda; Şanlıurfa'nın farklı nüfus, bölge ve gelir seviyelerinde altı Suriye uyruklu aile ve altı yerli aile belirlenmiştir. Toplam 12 aileye öncelikle, evsel atık ve geri dönüşüm hakkında bilgi ve bilinçlendirmeler yapılmıştır. Her eve farklı renklerde (siyah-mavi) poşetler ve dijital tartı aletleri verilmiştir. Siyah poşetlere günlük organik-inorganik atıkların atılması ve mavi poşetlere ise geri dönüşüm niteliğindeki atıkların yerleştirilmesi bilgisi verilmiştir. Bu sınıflamaya göre yapılan toplama işlemlerinin ardından, her gün saat 21.00'da verilen dijital el tartılarıyla poşetlerin tartılması ve kırk beş gün boyunca verilerin yazılı olarak kayıt altına alınması sağlanmıştır.

Araştırma Bulguları

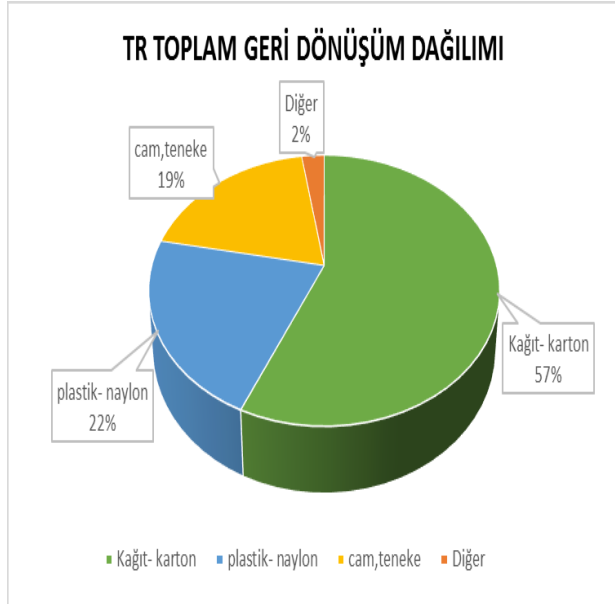
Çalışma, 45 günlük sürede tamamlanmıştır. Türkiye vatandaşı yerli aileler TR kısaltma ibaresi ve Suriye uyruklu göçmen aileler ise SR kısaltma ibaresi ile tanımlanmıştır. 6 TR ve 6 SR haneden oluşan toplam 12 lokasyon belirlenmiştir. TR hanelerinde 34, SR hanelerinde ise 35 kişi olup çalışmada yer verilen toplam nüfus 69 kişiden oluşmaktadır. Ortalama hane başı nüfus 8 kişidir. Çalışma sonunda elde edilen veriler, çeşitli parametreler doğrultusunda aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



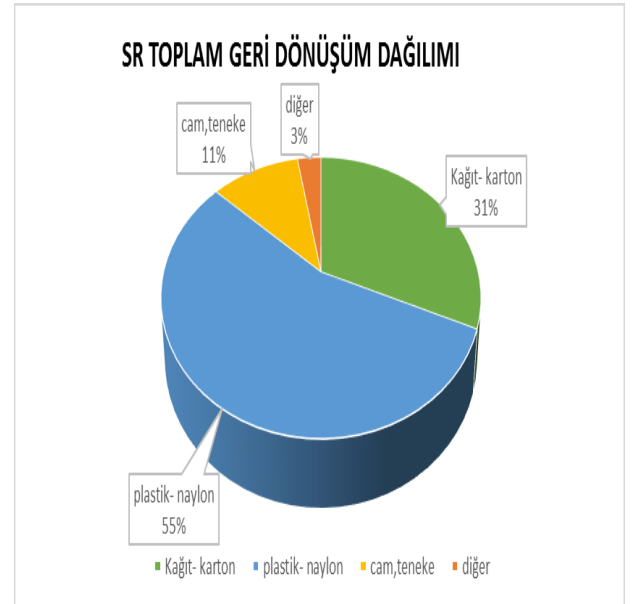
Grafik 1: Yerli ailelerin 45 günlük toplam evsel atık dağılımı (%)



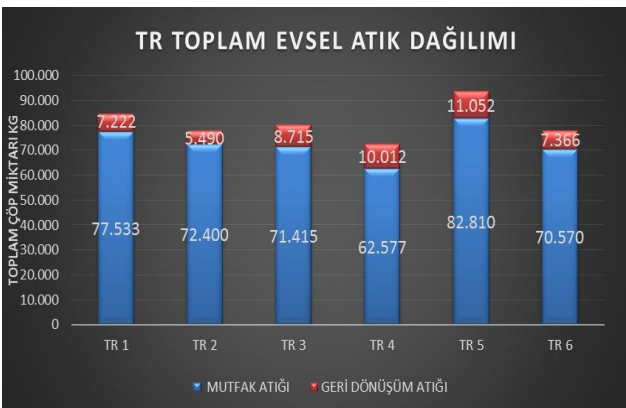
Grafik 4: Suriyeli göçmen ailelerin 45 günlük toplam evsel atık dağılımı (%)



Grafik 2: Yerli ailelerin 45 günlük toplam geri dönüşüm nitelikli atık dağılımı (%)



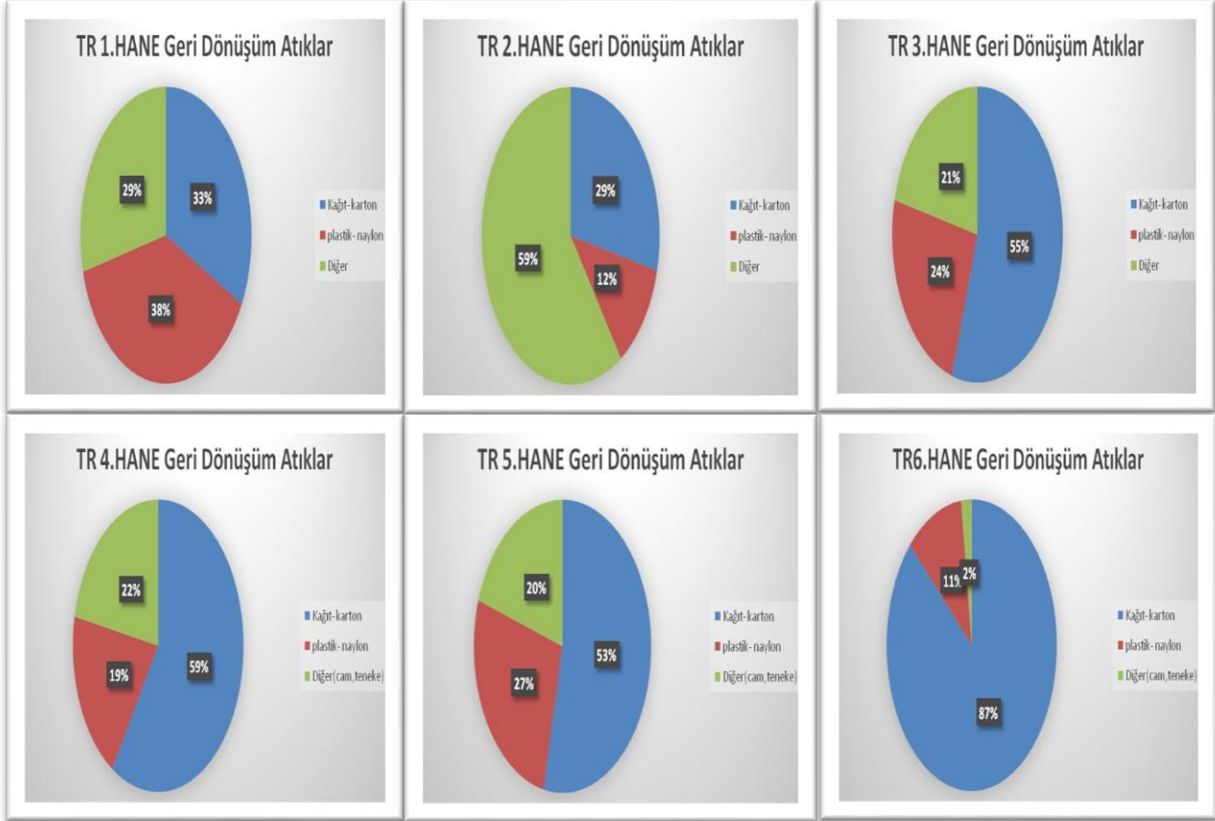
Grafik 5: Suriyeli göçmen ailelerin 45 günlük toplam geri dönüşüm nitelikli atık dağılımı (%)



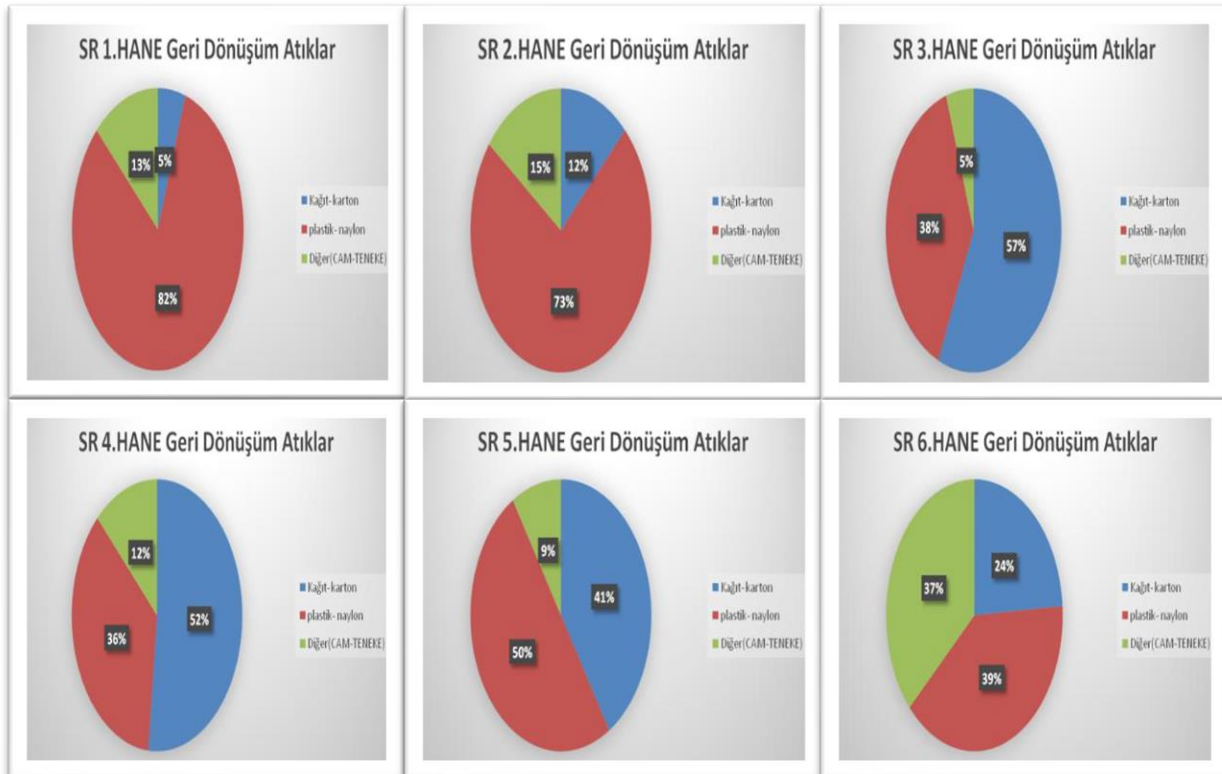
Grafik 3: Yerli ailelerin 45 günlük toplam evsel atık dağılımı (kg)



Grafik 6: Suriyeli göçmen ailelerin 45 günlük toplam evsel atık dağılımı (kg)



Grafik 7: Yerli ailelerin ayrı ayrı toplam evsel atık dağılımı (%)



Grafik 8: Suriyeli göçmen ailelerin ayrı ayrı toplam evsel atık dağılımı (%)

Sonuçlar ve Tartışma

Genel anlamda, Suriyeli göçmen ailelerin geldikleri ülke olan Suriye'nin Türkiye'ye komşu ülke olmasına bağlı olarak yaşam tarzları benzer özellik göstermektedir. Buna bağlı olarak da günlük davranış, beslenme ve sonucunda oluşan atık miktar ve özelliklerinin anlamlı farklılık göstermediği söylenebilmektedir. Çalışmadan elde edilen verilere, ayrı ayrı ve toplam olarak aşağıdaki tablo 1'de yer verilmektedir.

Tablo 1: Suriyeli göçmen ve yerli ailelerin ayrı ayrı ve toplam evsel atık dağılımı (kg)

HANE	TR Mutfak Atığı (kg)	SR Mutfak Atığı (kg)	TR Geri Dön. Atık (kg)	SR Geri Dön. Atık (kg)
1. Hane	77.533	119.011	7.22	7.670
2. Hane	72.400	65.012	5.490	2.875
3. Hane	71.415	114.010	8.715	3.445
4. Hane	62.577	51.480	10.012	4.915
5. Hane	82.810	84.008	11.052	10.640
6. Hane	70.570	73.161	7.366	3.670
TOPLAM (kg)	437.305	506.682	49.855	33.215

Bununla birlikte yapılan çalışmanın detaylı analizi yapıldığında şu sonuçlardan bahsetmek mümkündür;

Hane başı birim çöp miktarı hesaplandığında TR aileler için 1.82 kg/hane.gün ve SR aileler için 2 kg/hane.gün olarak bulunmuştur. Kişi başı birim çöp miktarları ise TR için 320 g/kişi.gün ve SR için 342 g/kişi.gün olarak hesaplanmıştır.

TR ailelerin toplam atık miktarı, SR ailelerinin toplam miktarından yaklaşık %20 daha fazladır. Bu durum SR ailelerin barındıkları evlerde, çok fazla eşya bulundurmamaları sadece temel ihtiyaçlarını karşılama yoluna gittiklerini ve buna bağlı daha az atık oluşturdukları varsayımını düşündürmektedir.

Geride dönüşüm niteliğindeki atıklar ele alındığında, yine TR ailelerin daha fazla geride dönüşüm nitelikli atık oluşturduğu görülmektedir. Bu parametre daha detaylı incelendiğinde; TR ailelerde kağıt türevi atıkların daha fazla, SR ailelerde ise plastik türevi atıkların daha fazla yer aldığı görülmektedir. Bu durum, SR ailelerin göçmen olarak yaşadıkları evlerde günlük yaşam, yeme, içme ve kullanım malzemelerini tek kullanımlık malzemelerden tercih ettiklerini göstermektedir.

Türkiye, Suriyeli göçmenlere “açık kapı politikası” uygulanmasını ve hayati ihtiyaçlarının temin edilmesini, insani sorumluluk olarak değerlendirmiş ve bu anlayışa dayalı yürütülen bir süreç takip etmiştir. Bundan dolayı da Suriyeli göçmen sayısı ciddi rakamlara ulaşmıştır. Türkiye'ye yönelik artan Suriye göçü, ülkenin ekonomisini, sosyal yaşamını, güvenliğini, demografik yapısını, kamu düzenini ve benzeri daha pek çok parametreye bağlı olarak da geleceğini yüksek düzeyde etkilemektedir. Ortaya çıkan durum, etkili bir göç yönetimi ihtiyacını gerekli ve hatta hayati kılmaktadır. Çevresel konular başta olmak üzere, tüm konuların ayrıntılarıyla ele alınması ve geleceğe dönük her türlü yapılanma ve planlamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İlk zamanlarda kısa vadeli kalacakları düşünülen Suriyeli mültecilerin, uzun zaman daha Türkiye gündemini yakından ve ilk sıralardan meşgul edeceği öngörüsünden hareketle konunun, bütüncül bir anlayışla ele alınması gerekmektedir. Dolayısıyla konumuz olan atık oranları açısından da bakıldığında; her tür atık tesisinin bu bilgiler ışığındaki kapasitelerinin planlanması, Suriyeli mültecilerin başta toplu yaşadıkları bölgeler olmak üzere tüm yaşam alanlarında geride dönüşüm hakkında bilinçlendirilmeleri ve geride kazanımın sağlanması önem arz etmektedir. Bu şekilde aktive edilen göçmen ailelerin geride dönüşüm sayesinde ekonomiye ve doğal kaynakların korunmasına belirli oranlarda katkı vermeleri sağlanmış olup, ülke üzerine yaşatılan yükün hafifletilmesi öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Tunç, A.Ş. (2015). Mülteci Davranışı ve Toplumsal Etkileri: Türkiye'deki Suriyelilere İlişkin Bir Değerlendirme, TESAM Akademi Dergisi, 2(2).
- [2] Efe, İ. (2015). Türk Basınında Suriyeli Sığınmacılar, SETA Rapor.
- [3] Yenigün, İ. ve Uyanık, S. (2018). Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Çevresel Altyapılar Üzerine Suriye Kaynaklı Göçlerin Etkileri, ISEM, Bosnia and Herzegovina, 27-29 June.
- [4] 2016 Türkiye Göç Raporu. (2017). T.C. İçişleri Bakanlığı Göç İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No:40, Ankara.
- [5] URL-1 BİANET, Bağımsız İletişim Ağı sitesi, <http://bianet.org/bianet/insan-haklari/210836-goc-idaresi-genel-mudurlugu-verilerine-gore-turkiye-deki-suriyeliler> (26.04.2020).
- [6] Beyhan, M. (1997). Isparta Evsel ve Ticari Katı Atıklarından Geri Kazanılabılır Maddelerin Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Palabıyık, H. ve Altunbaş, D. (2004). "Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi", Editörler: M.C. Marin ve U. Yıldırım, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar – Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler, Beta yayınları, İstanbul, s.13-30.
- [8] Kızıboğa, R ve Batal, S. (2012). "Türkiye'de Çevre Sorunlarının Çözümünde Yerel Yönetimlerin Rolü ve Önemi". Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt:9, Sayı:20, s.191-212.
- [9] Mazurkiewicz, P. (2005). Corporate Environmental Responsibility: Is a Common. CSR Framework Possible? World Bank Discussion Paper, <http://siteresources.worldbank.org/EXTDEVCOMM/ENG/Resources/csrframework.pdf> (06.08.2019).
- [10] Umut, M.Ö., Topuz, Y.V., Veliöglü, M.N. (2015). Çöpten Geri Dönüşüme Giden Yolda Sürdürülebilir Tüketiciler, CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:13, Sayı:2, Haziran.

Bazalt Agregalı Bitümlü Sıcak Karışım Tabakalarının Dinamik Rijitlik Modülünün Hesaplanması ve Marshall Tasarım Kriterleriyle Karşılaştırılması

Determination of Dynamic Stiffness Module of Basalt Aggregated Bituminous Hot Mix Layers and Comparison with Marshall Design Criteria

İhsan Güzel^{1*}, Ahmet Benli²

¹ Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, iguzel@bingol.edu.tr

² Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, abenli@bingol.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 31 Mart 2020
Düzeltilme: 5 Eylül 2020
Kabul: 10 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Tasarım, Dinamik Rijitlik Modülü,
Asfalt Betonu, Marshall Dizaynı,
Master Eğrisi

ÖZET

Ülkemizde 2008 yılında yayınlanan Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberiyle, tasarımcıya çeşitli tasarım ve malzeme seçiminde olanaklar sağlayan, ampirik ve analitik yöntemlere dayalı AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 2002 Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi kriterlerine geçiş yapılmaya başlanmıştır. AASHTO 2002 Projelendirme Rehberinde, kaplama performansını etkileyen en önemli faktörlerden olan dinamik rijitlik modülü ikinci, üçüncü hiyerarşik seviye projeler için deney yapılmadan tahmin modelleriyle hesaplanmasına izin verilmektedir. Tahmini modellerle hesaplanan dinamik rijitlik modülünün, ülkemizde bitümlü sıcak karışım dizaynında yaygın olarak kullanılan Marshall yöntemi verileriyle ilişkisinin araştırılması proje bazında tasarımcıya alternatif olanaklar sağlayacaktır. Bu çalışmada bazalt agregalı bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarının karışım tasarımları Marshall yöntemiyle yapılarak; belirlenen frekans ve sıcaklıklarda optimum bitüme göre Witczak 2002 Modeliyle dinamik rijitlik modülleri hesaplanıp ana eğrileri çizilmiştir. Sonuç olarak dizayn kriter değerlerinde maksimum dinamik rijitlik modülüne yaklaşılmış ve sıcaklığın yüklem sürelerine göre dinamik rijitlik modülünü daha fazla etkilediğinden projelerde öncelikli olarak iklim şartlarına göre tabakaların dinamik rijitlik modülünün belirlenerek tasarım yapılması, ayrıca aşınma karışımlarının dayanımın artırılması için maksimum agrega tane boyutunun büyütülmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.712090

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 March 2020
Revised: 5 September 2020
Accepted: 10 September 2020

Keywords:

Design, Dynamic Stiffness
Module, Asphalt Concrete,
Marshall Design, Master Curve

ABSTRACT

In Turkey with the published Flexible Pavements Projecting Guide 2008, the designer that offer opportunities in various design and material selection, empirical and analytical methods based on AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 2002 Flexible Pavement Design Guide is being made the transition to the criteria. In AASHTO 2002 Project Designing Guide, dynamic stiffness module, which is one of the most important factors affecting coating performance, is allowed to be calculated with estimation models for second and third hierarchical level projects. Investigating the relationship between the dynamic stiffness module calculated with estimated models and Marshall method data, which is widely used in bituminous hot mix design in our country, will provide alternative opportunities for the designer on a project basis. In this study, the mixture designs of basalt aggregate bituminous foundation, binder and wear layers are made by Marshall method; According to the optimum bitumen at determined frequencies and temperatures, dynamic stiffness modules are calculated with Witczak 2002 Model and their main curves are drawn. As a result, it has been determined that the maximum dynamic stiffness modulus in design criteria values has been approached and since the temperature affects the dynamic stiffness modulus more than the loading times, it has been determined that the dynamic stiffness modulus of the layers should be determined primarily in the projects according to the climatic conditions, and the maximum aggregate particle size should be increased in order to increase the strength of the wear mixtures.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Ahmet BENLİ

✉ abenli@bingol.edu.tr

Please cite this article in press as İ. Güzel, A. Benli, "Bazalt Agregalı Bitümlü Sıcak Karışım Tabakalarının Dinamik Rijitlik Modülünün Hesaplanması Ve Marshall Tasarım Kriterleriyle Karşılaştırılması", DUJE, vol. 11, no.3, pp. 1373- 1384, September 2020.

Giriş

Ülkemizin, karayolu uzunlukları karşılaştırılmasında uluslararası kıstas olan karayolu uzunluğunun ülke yüzölçümü oranı, gelişmiş ülkelere göre daha düşük olması nedniyle ihtiyaç olan karayolu kaplamalarının esnek kaplamadan elde edilen deneyimler ve bu kaplamaların avantajları dikkate alınarak esnek kaplama tipinin tercih edilebilecektir. Ayrıca mevcut asfalt betonu yol kaplamalarının bakım ve onarımında asfalt betonunun kullanımı öncelikli olacaktır. Bu nedenle esnek üst yapıların proje şartlarını daha fazla göz önünde bulunduran yöntemle tasarlanması sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Asfalt betonu üst yapısının tasarımı amprik, analitik, amirik - analitik yöntemlerle yapılmaktadır. AASHTO 1972 rehberi, CBR (California Bearing Ratio) yöntemi amprik yöntemlere, AASHTO 1986, AASHTO 1993 rehberleri ve bu rehberlere göre daha detaylı ve değişik girdilerin girilmesine olanak sağlayan AASHTO 2002 rehberi amprik - analitik yöntemlere, Shell yöntemi ise analitik yöntemlere örnek olarak verilebilir.[1]

Tasarımcıya çeşitli tasarım ve malzeme seçiminde olanaklar sağlayan AASHTO 2002 rehberi, AASHTO'nun diğer rehberlerinin eksiklik ve yetersizliklerini (Trafik yükü, tabakalarda kullanılan malzeme özellikleri, gerçeği temsil edecek iklim ve çevre koşulları vb) [2], proje özelliği ve mevcut imkanlara göre tasarımcıya üç seviyede girdi girilmesini sağlayarak minimize etmektedir.

AASHTO 2002 Rehberinde üst yapı tasarımı ve performansını doğrudan kullanılan; kalibrasyon faktörleri, kaplama tabakalarının birim şekil değiştirmesi, deformasyonu ve karışımların en temel özelliği olan dinamik rijitlik modülü etkilemektedir. Dinamik rijitlik modülü birinci seviye için deneysel, ikinci ve üçüncü seviyeler için ise yaklaşık yöntemlerle hesaplanmaktadır [3]

Amprik - analitik yöntemle geçiş yapılmak üzere AASHTO 1993 kriterleri esas alınarak 2008 yılında yayınlanan ve halen yürürlükte olan Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberin'de asfalt betonu kaplamaların kalınlığı eşdeğer standart dingil yükü sayısı, güvenilirlik, üstyapı taban zemini esneklik modülü, çevre ve

iklim koşullarına göre belirlenmektedir. Bu rehberde yeni yapılacak üstyapı ve takviye tabakalarının kalınlıklarının belirlenmesinde kullanılan üst yapı sayısı malzemelerin için belirlenen izafi mukavemet katsayılarına göre hesaplanmakta olup; aşınma ve binder kaplama tabakalarının toplam kalınlığı 11cm ile 18 cm, bitümlü temel tabakası kalınlığı 8 cm ile 16 cm, plentmiks temel 15 ile 20 cm, alttemel tabakası kalınlığı ise 0 ile 50 cm arasında değişmektedir [4].

2019 yılı fiyatlarına göre ocak taşından aşınma, binder, bitümlü temel tabakalarının bir santim kalınlığının ortalama maliyeti 5 TL/m², olup; % 50'si bitüm zati bedelidir. Plentmiks temel ve plentmiks alt temel tabakalarının bir santim kalınlığının yaklaşık maliyeti ise 1 TL/ m² dir [5].

Yeni yapılacak karayolu üst yapıları ve mevcut üstyapıların onarım maliyetleri göz önüne alındığında; iklim, çevre ve trafik yükü koşullarında, proje süresince asfalt betonu kaplamalarının hedeflenen performansı karşılaması ülke ekonomisi açısından önemlidir. Üst yapılarda hedef performansın gerçekleşmesini önemli seviyede AASHTO 2002'de belirtildiği üzere ülke koşullarına uygun kalibrasyon faktörleriyle beraber tabakaların en temel özelliği olan dinamik rijitlik modülünün, kullanılan malzemelere göre belirlenmesi etkilemektedir.

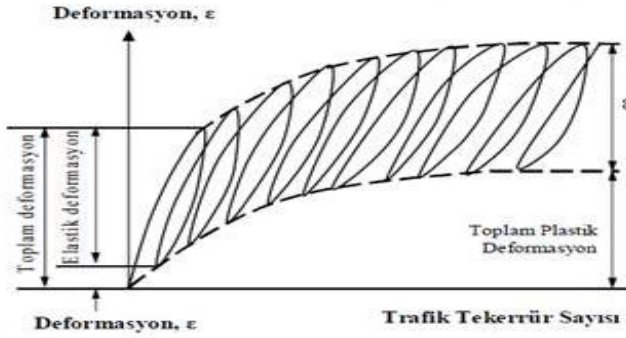
Ülkemizde yürürlüğe olan üst yapı projelendirme rehberinde tasarım;karışım malzemelerinin farklılıklarını dikkate almadan genel olarak belirlenen dinamik rijitlik modülüyle ilişkili olan tabakaların izafi mukavemet katsayılarıyla yapılmaktadır. Proje bazında temin edilebilecek agrega türlerine göre tabaka tasarım yapılması üst yapı performansı için önemlidir.

Bu nedenle aynı ocaktan üretilen bazalt agregalı bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarının, ülkemizde süper pave dizaynına geçinceye kadar kullanılacak Marshall dizaynı verileriyle, AASHTO 2002 Rehberin'de ikinci, üçüncü hiyerarşik seviye projelerde tahminine izin verilen dinamik rijitlik modül ilişkisinin incelenmesinin, proje bazında tasarımcılara ekonomik değerlendirmelere ve analitik

çalışmalara katkıda bulunacağı düşünülerek bu çalışma yapılmıştır.

Üstyapı Tabakalarının Esneklik ve Dinamik Rijitlik Modülü

Karayolu esnek üstyapılarını amprik ve analitik yöntemle tasarlanması için tabakalara elastik teorinin uygulaması gerekmektedir. Bu durumda tabakaların statik yük yerine gerçek yükleme koşullarına uygun olan tekrar eden yükler altında elastikiyet modülü Şekil-1’de görüleceği üzere tekerrür eden yüklerle yapılan üç eksenli deneylerde elde edilen devilatör gerilmenin elastik deformasyona oranı olan esneklik; (resilient) modülü ile yaklaşımıyla yapılmaktadır [6].



Şekil 1. Üstyapı malzemelerinin tekrarlı yük – deformasyon ilişkisi[6]

Karayolları Genel Müdürlüğü’nün yürürlükte olan Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberin’de alttemel, temel ve üstyapı tabanının esneklik modülü, asfalt betonu kalınlığı, CBR, optimum rutubet, maksimum kuru birim ağırlık, likit limit, plastisite indeksi, derinlik düzeltme faktörü, No4 ve No200 ‘den geçen malzeme yüzdeleriyle ilişkilidir. Rehberde belirtilen izafi mukavemet katsayılarına göre çimento bağlayıcılı granüller temel 133520 psi (921MPa), plentmiks temel granüler temel 37037 psi (256MPa), granüler temel 30112 psi (208MPa), kırma taş alttemel 24110 psi (166MPa), kum çakıl alttemelin ise 14606 psi (101 MPa) olarak esneklik modüllerinin kabul edildiği hesaplamalarla tespit edilmiştir.

Bitümlü karışımların serilip sıkıştırıldıktan sonra tabakada oluşan boşluklar tabakanın mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilerken; vizkoelastik ve termoplastik malzeme olan

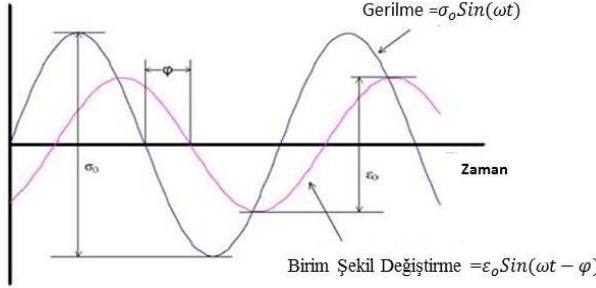
bitüm sıcaklık ve trafik yüklemelerine bağlı olarak sıkıştırılmış kaplamada, reolojik hali nedeniyle en büyük etkiyi yapmaktadır.

Bitümlü karışım tabakalarının performansının değerlendirilmesinde gözönüne alınan mekanik özelliklerden birisi olan rijitlik, bitünlü karışım malzemelerin vizkoelastik malzeme olması nedeniyle elastik malzemelerin elastikiyet modülüne benzeyen yükleme hızı, yükleme süresi ve sıcaklık dikkate alınarak gerilme deformasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden rijitlik modülü ile tanımlanmaktadır. Rijitlik modülü indirekt çekme, sünme, üç eksenli tekerrürlü yük, üç eksenli dinamik modül, serbest basınç veya çekme deneyleriyle tespit edilmekle beraber, bitüm rijitliği, karışımdaki agrega ve bitümün hacimsel yüzdeleri, akma, stabilite ve serbest basınç mukavemet değişkenleri dikkate alınarak Nijboer, Goet-Metcalf, Henkelom-Klomp yaklaşımı, Shell Abakları ve Bonnaune’nin geliştirdiği eşitliklerle de hesaplanmaktadır [7].

Trafik yükünün en fazla etkili olduğu asfalt betonu kaplama (aşınma, binder) karışım numunelerine uygulanan tekerrürlü maksimum yükün yatay yönde kaydedilen birim şekil değiştirme oranı olarak tanımlanabilen esneklik modülü [8], tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir göstergesi olmasına rağmen viskoelastik karışımların mekanik özelliklerini tam olarak temsil etmemektedir.

Viskoz davranış gösteren asfalt betonu karışımların performansını değerlendirmek için Papazian tarafından 1962 yılında yapılan çalışmalarda kompleks modülü kavramı belirtilmiştir[9]. 1970 yılının başında bu kavram Asfalt Enstitüsü tarafından kullanılmıştır [10]. Doğrusal viskoelastik malzemelerin sürekli bir sinüzoidal yükleme altında meydana gelen Şekil 2’de gösterilen gerilme, şekil değiştirme genlikleriyle ilişkilendiren tekerlek izi ve yorulma çatlaklarının öngörülmesini sağlayan kompleks modülün (Eşitlik-1) mutlak değeri genellikle dinamik modül olarak adlandırılır. Asfalt karışımların rijitliğinin zaman ve sıcaklıkla ilişkili detaylı olarak hesaplanması olarakta tanımlanan dinamik modülün artması

asfalt betonu tabakasının trafik yüklemeleri altında deformasyonlara ve yüksek sıcaklıklarda teker izine karşı direncini ve düşük ısı çatlaklarına duyarlılığını artıracaktır [11].



Şekil 2. Dinamik kompleks modülü testinin şematik bileşenleri[11]

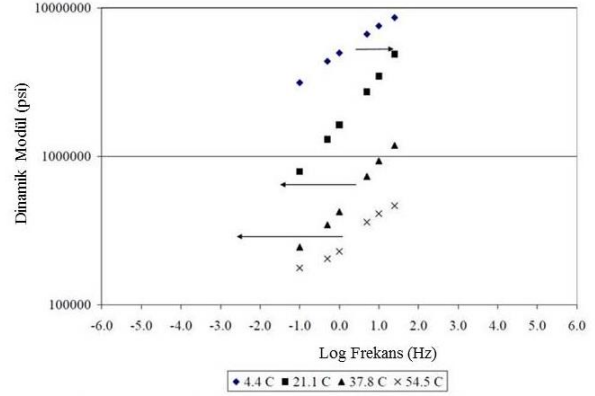
$$E^* = \frac{\sigma_o \sin(\omega t)}{\epsilon_o \sin(\omega t - \phi)} \quad (1)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2)$$

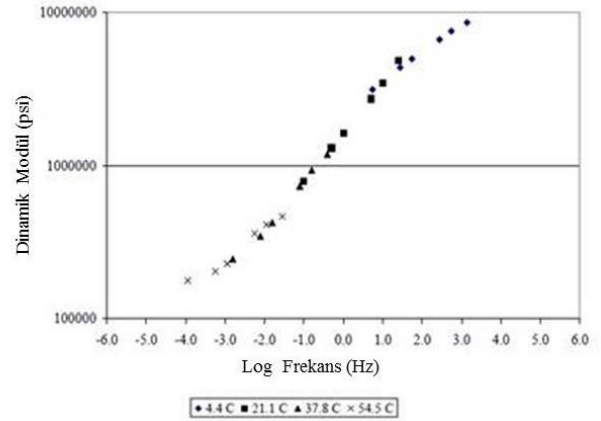
$$\phi = \frac{t_{lag}}{t_p} \cdot (360^\circ = t_{lag} \cdot f \cdot (360^\circ)) \quad (3)$$

E^* kompleks modül, σ_o tepe gerilme, ϵ_o tepe birim şekil değişirme, t zaman, ω açısal hız, ϕ tepe gerilme ile tepe birim şekil defermasyon arasındaki zaman farkı (Faz acısı) t_p tekrarlı gerilmenin yükleme periyodu, t_{lag} gerilme şekil değişirme arasında zaman farkıdır.

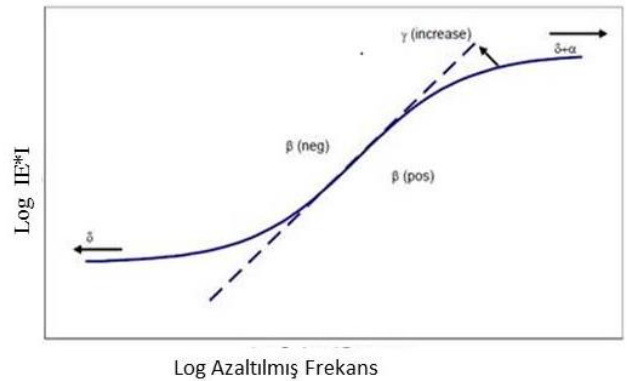
AASHTO 2002 Rehberin’de hiyerarşik olarak birinci seviye projelerde farklı frekans (25, 10, 5, 1.0, 0.5, , 0.1 Hz) ve sıcaklıklarda((-10, 4.4, 21.1,37.8,54.4°C) elde edilen dinamik modülü deney sonuç eğrileri zaman ve sıcaklık süperpozisyon ilkesine göre referans sıcaklığı referans alınarak tek bir düz fonksiyonda birleşene kadar yükleme süresinde değişim yapılarak (Eşitlik 2,3) meydana getirilen dinamik modül master (ana) eğrisinden zamana (frekans) bağlı dinamik modül değerleri hesaplanmaktadır (Şekil 3,4).Maryland Üniversitesi tarafından yapılan araştırmalarda dinamik modül master eğrisinin Eşitlik-4’de gösterilen sigmimodal fonksiyonla (Şekil-5) temsil edileceği gösterilmiştir [12,13].



Şekil 3. Test sonuçlarına göre farklı sıcaklıklarda dinamik modül frekans eğrileri [12]



Şekil-4. Test sonuçlarına göre düzeltilmiş dinamik modül ana eğrisi [12]



Şekil 5. Sigmoidal fonksiyon [13]

$$\text{Log}|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \text{Log}(t_r)}} \quad (4)$$

$$\text{Log}(t_r) = \text{Log}(t) + \text{Log}(a(T)) \quad (5)$$

$$\text{Log}(f_r) = \text{Log}(f) + \text{Log}(a(T)) \quad (6)$$

$|E^*|$ dinamik modül, δ minimum modül değeri t_r referans sıcaklığında azaltılmış yükleme

süresi , $\delta + \alpha$ maksimum modül değeri , β, γ sigmodal fonksiyonun şeklini tanımlayan parametreler $a(T)$ değiştirme faktörü , t yükleme süresi , f yükleme frekansı, f_r referans sıcaklığında azaltılmış yükleme frekansdır. Hiyerarşik olarak birinci seviye projeler için dinamik modül, superpave tasarımının bağlayıcı değerleriyle beraber laboratuvar deneylerinden tespit edilmektedir. Dinamik modül deneyleri zamanın yanı sıra ortalama 80.000 \$ ekipman maliyeti gerektirmektedir [14] . İkinci seviye projelerde dinamik modül için deney gerekmezken; bağlayıcılar için geleneksel bitüm deneyleri yapılmaktadır. Üçüncü seviye projeler için ise dinamik modül ve bağlayıcı deneyleri yapılmamakta olup; bağlayıcılar için tasarım rehberinde belirtilen değerler dikkate alınarak, yaşlanmayı da kapsayan zaman sıcaklık ilişkisini gösteren ana eğrileri teşkil edilir [15].

İkinci ve üçüncü seviye projeler için .1954 yılından itibaren hacimsel hesaplamalara dayanan karışım dizaynlarının (Marshall ,Hvem vb) otuz yıla yakın sürede ölçülen dinamik modül değerlerinin sonuçlarına göre çoğu ABD kaynaklı olan, agrega boyutu ve bağlayıcıların viskozitesiyle ilişkili dinamik modülü tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Genellikle Witczak 1999, Witczak 2002 Yeni Witczak 2006 Asphalt Enstitüsü (AI), Hirsch Alkhatieb modelleriyle tahminler yapılmaktadır [16,17]. Geleneksel Witczak 1999, Witczak 2002 modelleri karışım özellikleriyle beraber bağlayıcıların dinamik kesme modülü ve faz acısıyla ilişkilidir. Ülkeler veya bölgeler kendi koşullarına dikkate alarak dinamik modül veri tabanlarına göre bu modelleri modifiye etmekte veya kendi koşullarına uygun tahmin modelleri geliştirmektedir. Idaho, Florida karışımlarının dinamik modüllerinin tahmin modelleri örnek olarak gösterilebilir. Yerel koşullara ait dinamik modül verilerine uyarlanmış modeller tasarımcıya yerel malzemeleri daha iyi tanıma, farklı tasarım amaçları için uygun maliyetli malzeme seçimi ve bitümlü kaplamaların performansının daha gerçekçi ön görülmesini sağlayacaktır.

Kaplama karışımlarının kalite özelliklerini yansıtan dinamik modülün, tahmininde yaygın olarak kullanılan tahmin modellerinden Witczak1996 (Eşitlik 7), Yeni Witczak 2002 Modeli (Eşitlik 8) eşitlikleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Log}|E^*| = 3,750063 + 0,02932 \cdot \rho_{200} - 0,001767 \cdot (\rho_{200})^2 + 0,002841 \cdot \rho_4 - 0,058097 \cdot V_a - 0,802208 \left| \frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right| + \frac{3,87197 - 0,0021 \cdot \rho_4 + 0,003959 \cdot \rho_{38} - 0,000017 \cdot (\rho_{38})^2 + 0,00547 \cdot \rho_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351 \text{Log}(f) - 0,593532 \text{Log}(\eta))}} \quad (7)$$

$$\text{Log}|E^*| = -1,249937 + 0,029232 \cdot \rho_{200} - 0,001767 \cdot (\rho_{200})^2 + 0,002841 \cdot \rho_4 - 0,058097 \cdot V_a - 0,802208 \left| \frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right| + \frac{3,871977 - 0,0021 \cdot \rho_4 + 0,003959 \cdot \rho_{38} - 0,000017 \cdot (\rho_{38})^2 + 0,00547 \cdot \rho_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351 \text{Log}(f) - 0,593532 \text{Log}(\eta))}} \quad (8)$$

$$\text{Log Log}(\eta) = A + VTS \cdot \text{Log}(T_R) \quad (9)$$

$$\text{Log}(\eta) = 10,5012 - 2,2601 \text{Log}(pen) + 0,00389 (\text{Log}(pen))^2 \quad (10)$$

η bitümün viskozitesi (106 Poise), f yükleme frekansı, V_a hava boşluğu %, V_{beff} hacimsel olarak efektif bitim %, $\rho_4, \rho_{38}, \rho_{34}$ No4,3/8",3/4" elekler üzerinde kalan (%), ρ_{200} No200 elekten geçen (%), T_R sıcaklık (Rankine), A regresyon kesmesi, VTS viskozite sıcaklık duyarlılığının regresyon eğimi, pen bitümün penetrasyondur.

Asfalt betonu karışımlarının rijitlik, esneklik modülü ve ölçülen dinamik modülle tahmin edilen dinamik modül arasında ilişkiyi; agrega gradasyonu, bağlayıcı sınıfı, miktarı, yeni malzeme tipleri, yükleme süresi ve sıcaklık faktörlerine göre değerlendiren bazı çalışmaların sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Kuloğlu, Henkelom-Klomp eşitliklerinde değişen boşluk oranları, bitüm özgül ağırlığı, agrega efektif özgül ağırlığı, agrega ve bitüm yüzdelere göre karışım rijitlik değerlerini 22019 MPa ile 33042MPa, karışımın plastik rijitliğini ise değişen bitüm viskozitesi ve yükün toplam etkime sürelerine göre 411 MPa ile 2596 MPa aralığında tespit etmiştir. [18]

Sayın, Henkelom-Klomp eşitlikleri kullanarak farklı numune sıcaklıklarında bulmuş olduğu

karışım rijitlikleri bulanık mantık yöntemiyle karşılaştırma çalışmasında -10, 0, 10, 20, 30, 40 °C numune sıcaklıkları için sırasıyla 16008 MPa, 10024 MPa, 5385 MPa, 2262 MPa, 605 MPa, 51 MPa olarak hesaplamıştır [19].

Özgan, karot numunelerinin 17.30.40.50 °C sıcaklıklarda Marshall akma ve stabilite değerlerine göre Nijboer yaklaşımı ile karotların rijitlik modülünü 403 kg/cm^2 (39 MPa) ile 192 kg/cm^2 (19 MPa) aralığında belirlemiştir [20].

Yılmaz 19 mm maksimum boyutlu kalker ve kalker + çelik çürüfu karışımı agregalara B160/220, B50/70 sınıfı bitümler ve bunların modifiye edilmiş tipleriyle yapılan karışımlara 5,20,35 °C sıcaklıklarda uygulanan indirekt çekme rijitlik modülü deneyinde rijitlik modülünü yaklaşık 500 MPa ile 7500 MPa arasında hesaplamıştır [21].

Alataş, maksimum agrega dane boyutu 19 mm olan kalker ve bazalt agregalı karışımların Marshall numunelerine 20 °C'de yaptığı tekrar yüklemeli indirekt çekme deneylerinden bazalt agregalı karışım için 1706 MPa kalker karışım için ise 1353 MPa olarak esneklik modülü sonuçları elde etmiştir [22].

Garcia ve Thompson, dinamik modülün sıcaklıkla ilişkisi çalışmasında, PG64-22, PG 76-22,38 sınıfı ve nodifiye edilmiş bitümleri kullanarak; 19 mm, 12.50 mm, 9.50 mm maksimum boyutlu agrega karışımlarına -10 4 °C .20 °C sıcaklık ve 25 Hz ile 0.1 Hz aralığında yüklemelerden ölçülen dinamik modüller 8.883.851 psi (61.298 Mpa) ile 156120 psi (1077 MPa) aralığındadır. Dinamik modülün tahmininde yaygın olarak kullanılan Hirsch Modeliyle deneyde ölçülen dinamik modüller arasında (Eöl=DF.Et) düzeltme faktörünün (DF) 0.96 ile 1.43 arasında değiştiği tespit edilmiştir [23].

Thomas, PG64-22, PG76-22 sınıfı bitümlerle maksimuma agrega boyutu 25 mm ve 9 mm olan karışımlara laboratuvar ve standart performans deneyleri yapılmıştır. Frekansın artmasıyla dinamik modülün arttığı, teker izi oturmalarına karşı dinamik modülün yüksek olması gerektiği, ayrıca tahmini edilen dinamik modülle (Witczak ,Hirsch) ölçülen dinamik

modül arasında %10 farklılıklar olduğu; TxDOT (Teksas Taşıma Departmanının) standart performans testlerinde 20 Hz, 25 Hz ile 0.1 Hz frekans aralığında 5 sn yüklemeli 5 sn yüklemesiz) 0.60 mm çatlak genişliği esas alınarak yüklemeye sayılarına göre çatlakların meydana geldiği dinamik modüller belirlenmiştir.[24]

Yu, geri dönüştürülmüş asfalt karışımı çatı kaplamalarının asfalt karışımlarda kullanılması durumunda ölçülen dinamik modellerin, tahmin edilen dinamik modellerin yaklaşık %70'i olduğundan; istatistik değerler (R^2 , S_e/S_y) göz önüne alarak tahmini model eşitliklerini yeniden güncellemiştir [25].

Huanan ,PG64-22, PG64 -28, PG76-28 PG70-28 sınıfı bitümlerle %20 oranında geri kazanılmış asfalt kaplamaların kullanıldığı maksimum dane boyutu 19 mm ve ortalama bitüm yüzdesi % 5.40 olan karışımlara 0.1 Hz 130 °F'da yapılan dinamik modülü deneylerinde PG 76-28 sınıfı bitümün diğer bitümlere göre belirgin bir şekilde dinamik modülü yükselttiği, 1 Hz, 140 °F'da bitüm sınıflarının dinamik modülü çok fazla etkilemediğini tespit etmiştir. Bitüm ve boşluk yüzdesinin artışıyla dinamik modülün azaldığı, agrega gradasyonunun dinamik modül üzerinde etkisi olduğu; ayrıca kompozit malzemeler için Hirsch modelinin daha uygun olacağını belirtmiştir [26].

Hyun, Jong, Lee , modifiye bitümlü kaplamaların geleneksel kaplamalara göre dinamik modülünün daha yüksek ve performansının daha iyi olduğunu laboratuvar ve saha testleriyle tespit etmiştir [27].

Güngör ve Sağlık, TÜBİTAK projesinde B 50/70 bitümle aşınma (kireçtaşı) ,taş mastik aşınma (kireçtaşı) , aşınma (bazalt), binder (kireçtaşı) ve bitümlü temel (kireçtaşı) karışımların esneklik modülü sırayla 5245 MPa, 4338 MPa, 4487 MPa 4306 MPa modifiye bitümlü kireç taşı ve bazalt agregalı aşınma karışımları için sırasıyla 5970 MPa, 4767 MPa, bazalt agregalı modifiyeli ve modifiyesiz taş mastik karışımlar için ise sırasıyla 4313 MPa, 3906 MPa olarak tespit edilmiş olup; Witczak formülüne benzer 4 Hz'de dinamik

rijitlik modülün tahmininde kullanılabilir eşitlik geliştirmiştir[28].

Srempihar,elyaf katkılı ve katkısız karışımların 40 °F ile 100 °F sıcaklıklarda esneklik modüllerini karşılaştırmış,elyaf katkılı karışımların 100 °F katkısız göre esneklik modülünü 2 kat arttığı aynı sıcaklıkta 5 Hz frekans yüklemeye esneklik modülü ile dinamik modülünün eşdeğer olduğunu belirleyen araştırmalara benzer sonuçları elyaf katkılı karışımlar içinde elde etmiştir. [29].

Esfandiarpour ve Shalaby, %10 ile %50 arasında değişen oranlarda geri kazanılmış asfalt kaplama karışımlarının kullanıldığı karışımların dinamik modülünün tahminini, amprik ve analitik kaplama tasarımına göre değerlendirilme çalışmasında,seviye iki için yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklıklarda tahmin edilen dinamik modülün ölçülenin yarısı, seviye üç için ise yüksek sıcaklıklarda ortalama %50 düşük sıcaklıklarda ise %150 oranında fazla tespit edilmiş olup ;ölçülenle tahmin edilen dinamik modüller arasında istatistiksel kriterler için korelasyon çalışmaları yapmıştır [30].

MJeong,değişik yüzdelerde geri kazanılmış asfalt kaplama karışımlarının kullanıldığı modifiye edilmiş karışımların beş sıcaklık ve ,altı yüklem frekansında ölçülen dinamik modülleri, Witczak 1999 ve 2006 modelleri ile tahmin edilenlerle karşılaştırma çalışmasında 1999 modelinden istatistiksel olarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [31].

Metodoloji

Çalışmada bazalt taş ocağından üretilen agregalara Karayolları 18 Bölge Laboratuvarında yapılan bitümlü temel, binder, aşınma Marshall dizaynlarından yararlanılarak (25,10,5,1,0.5,0,1,0.05,0.025) Hz frekans ve (-10 ,0,4.4,21,1,37.8,54.4)°C sıcaklıklarda Witczak 2002 (Eşitlik 7) modeliyle dinamik rijitlik modülleri hesaplanmış;.21.1 °C referans sıcaklığında kaplama karışımlarının Excel’de dinamik rijitlik modülü ana eğrisi,(master curve) çizilmiştir.Tabakalar için yapılan Marshall dizaynında değişen bitüm yüzdelere göre

tahmini dinamik rijitlik modülü hesaplanarak;Marshall dizaynından elde edilen ,boşluk, asfaltla dolu boşluk , stabilite,akma ,agregalar arası boşluk ve hacimsel özgül ağırlıkla ilişkisi araştırılmıştır.

Deneysel – Teorik Çalışma

Bazalt taş ocağından konkasörde üretilen 11/2”-3/4”, 1”-3/4”, 3/4”-1/2”,1/2”-No4,ve No4-altı agrega gruplarından bitümlü temel, binder, aşınma tabakaları için elde edilen karışım gradasyonlarında (Tablo-1) B 70/100 sınıfı bitüm kullanılarak farklı bitüm yüzdelerinim her birinde üç adet numune hazırlanarak bu tabakalara ait yapılan Marshall dizaynından elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bitümlü temel, binder, aşınma tabakalarının agrega karışım gradasyonları

Elek Açık. (inch)	Bitümlü Temel		Binder		Aşınma	
	Dizayn Grad (%)	Şart. Grad (%)	Dizayn Grad (%)	Şart. Grad (%)	Dizayn Grad (%)	Şart. Grad (%)
1 1/2"	100	100	100	100	100	100
1"	88,29	72-100	100	100	100	100
3/4"	76,49	60-90	90,54	100-80	100	100
1/2"	62,44	50-78	71,29	58-80	91,048	80-100
3/8"	55,89	43-70	62,2	48-70	80,456	72-90
No.4	40,51	30-55	43,01	30-52	46,344	42--52
No.10	25,15	18-42	26,78	20-40	28,512	25--35
No.40	10,68	6--21	11,91	8--22	12,936	10--20
No.80	6,57	2--13	7,26	5--14	8,096	7--14
No.200	3,66	0-7	4,14	2--7	4,84	3--8

Tablo 2.a Bitümlü temel tabakası Marshall deney sonuçları

Grup No	Bitüm Wa (%)	Hacim Özg. Ağırlık Dp	Maks. Teo. Özgül Ağ. Dt	Boşluk Vh (%)	V.M.A (%)	Asf. Dol Boş. Vf (%)	Akma (mm)	Düzeltilmiş Stabilite (kg)
1	3	2,179	2,43	10,376	15,2	31,72	2,99	865,64
2	3,5	2,204	2,42	8,751	14,64	40,22	2,74	944,42
3	4	2,231	2,4	7,037	14,01	49,77	2,84	1058,78
4	4,5	2,248	2,38	5,716	13,75	58,45	2,48	1133,65
5	5	2,255	2,37	4,85	13,92	65,15	2,6	1183,53
6	5,5	2,25	2,36	4,473	14,51	69,18	2,64	1104,2
7	6	2,246	2,34	4,076	15,08	72,97	2,73	1071,34
Dizayn	5,04	2,256	2,368663	4,756	13,9084	65,80197	2,66	1150
Şartname	3,5- 6,5	--	--	4--6	13-15	60-75	2--4	Min 750

Tablo 2.b. Binder tabakası Marshall deney sonuçları

Grup No	Bitüm Wa (%)	Hacim Özg. Ağrl Dp	Maks. Teo Özgül Ağ. Dt	Boşluk Vh (%)	V.M.A (%)	Asf. Dol Boş. Vf (%)	Akma (mm)	Düzeltilmiş Stabilite (kg)
1	3	2,179	2,43	10,376	15,2	31,72	2,99	865,64
2	3,5	2,204	2,42	8,751	14,64	40,22	2,74	944,42
3	4	2,231	2,4	7,037	14,01	49,77	2,84	1058,78
4	4,5	2,248	2,38	5,716	13,75	58,45	2,48	1133,65
5	5	2,255	2,37	4,85	13,92	65,15	2,6	1183,53
6	5,5	2,25	2,36	4,473	14,51	69,18	2,64	1104,2
7	6	2,246	2,34	4,076	15,08	72,97	2,73	1071,34
Dizayn Şartname	5,04 3,5-6,5	2,256 --	2,368663 --	4,756 4-6	13,9084 13-15	65,80197 60-75	2,66 2-4	1150 Min 750

Tablo 2.c. Aşınma tabakası Marshall deney sonuçları

Grup No	Bitüm Wa (%)	Hacim Özg. Ağrl Dp	Maks. Teo Özgül Ağ. Dt	Boşluk Vh (%)	V.M.A (%)	Asf. Dol Boş. Vf (%)	Akma (mm)	Düzeltilmiş Stabilite (kg)
1	3,5	2,152	2,41	10,79	16,53	34,7	2,41	950,47
2	4	2,175	2,4	9,25	16,05	42,3	2,45	1065,78
3	4,5	2,194	2,38	7,872	15,71	49,9	2,65	1092,2
4	5	2,23	2,37	5,801	14,76	60,71	2,95	1111,08
5	5,5	2,249	2,35	4,416	14,45	69,43	2,99	1164,93
6	6	2,244	2,34	4,019	15,01	73,23	3,11	1153,92
7	6,5	2,238	2,32	3,73	15,66	76,18	2,81	1153,92
Dizayn Şartname	5,54 4-7	2,246 --	2,351417 --	4,483 3-5	14,58175 14-16	69,25524 60-75	2,84 2-4	1151 Min 900

Tabakaların Marshall deneyinde belirtilen farklı bitüm yüzdeleri (W_a) için agregaların bitüm absorsiyonu (P_{abs}), karışımın efektif bitümü (P_{efbit}), bitüm özgül ağırlığı (G_{bit}) ve biriketlerin hacimsel özgül ağırlığıyla (D_p) ilişkili olan efektif bitüm yüzdeleri (V_{efbit}) hacimsel olarak hesaplanarak Tablo 3’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.a. Bitümlü temel karışımlarının efektif bitüm yüzdeleri

W_a (%)	P_{abs} (%)	P_{efbit} (%)	D_p	G_{bit}	V_{efbit} (%)
2,5	0,73	1,77	2,188	1,028	3,702
3	0,73	2,27	2,201	1,028	4,752
3,5	0,73	2,77	2,225	1,028	5,833
4	0,73	3,27	2,259	1,028	6,958
4,5	0,73	3,77	2,25	1,028	7,952
5	0,73	4,27	2,248	1,028	8,954
5,5	0,73	4,77	2,241	1,028	9,927
Dzy 4,65	0,73	3,92	2,257	1,028	8,282

Tablo 3.b. Binder karışımlarının efektif bitüm yüzdeleri

W_a (%)	P_{abs} (%)	P_{efbit} (%)	D_p	G_{bit}	V_{efbit} (%)
3	0,66	2,34	2,179	1,028	4,847
3,5	0,66	2,84	2,204	1,028	5,921
4	0,66	3,34	2,231	1,028	7,014
4,5	0,66	3,84	2,248	1,028	8,088
5	0,66	4,34	2,255	1,028	9,124
5,5	0,66	4,84	2,25	1,028	10,104
6	0,66	5,34	2,246	1,028	11,074
Dzy 5,04	0,66	4,38	2,256	1,028	9,209

Tablo 3.c. Aşınma karışımlarının efektif bitüm yüzdeleri

W_a (%)	P_{abs} (%)	P_{efbit} (%)	D_p	G_{bit}	V_{efbit} (%)
3,5	0,66	2,84	2,152	1,028	5,781
4	0,66	3,34	2,175	1,028	6,838
4,5	0,66	3,84	2,194	1,028	7,894
5	0,66	4,34	2,23	1,028	9,022
5,5	0,66	4,84	2,249	1,028	10,098
6	0,66	5,34	2,244	1,028	11,067
6,5	0,66	5,84	2,238	1,028	12,011
Dzy 5,54	0,66	4,88	2,246	1,028	10,166

Karışımlarda kullanılan B70/100 sınıfı bitümün performans sınıflandırılması PG 64-28 kabul edilerek bu performansa ait A ve VTS parametreleri sırasıyla 10.312, -3.440 alınarak farklı sıcaklıklarda Eşitlik 9’a göre bitüm viskozitesi hesaplanmıştır (Tablo-4).

Tablo 4. Bitüm viskozite değerleri

T(°C)	n (Poise 10 ⁶)
-10	68238,23
0	1943,84
4,4	484,01
21,1	5,48688
37,8	0,16897
54,4	0,01106

Karışımların farklı frekans (25,10,5,1,0,5,0,1,0,05,0,025).Hz.ve (-10,0,4 4,21 1,37 8,54 4) °C sıcaklıklarda dinamik rijitlik modülü Eşitlik 7’ye göre hesaplanarak Tablo 5’ te gösterilmiştir .Bu değerlere göre aynı sıcaklıkta frekans azaldıkça ve aynı frekansta sıcaklık yükseldikçe dinamik rijitlik modülün azaldığı; ayrıca maksimum dane boyutuna göre 19.10 mm elek üzerinde kalan malzeme miktarı artıkça dinamik rijitlik modülünün artığı bu nedenle bitümlü temel bitümlü tabakalar arasında en yüksek dinamik rijitlik modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir

Tablo 5.a. Aşınma karışımlarının farklı frekans ve sıcaklıklara göre hesaplanan dinamik rijitlik modülü

f (Hz)	Sıcaklık °C					
	-10	0	4,4	21,11	37,8	54,4
	E (psi)					
25	3301590	2357617	1957726	814234	295910	113182
10	3123971	2148000	1749624	674523	231433	86242
5	2983238	1988996	1595275	579922	190974	70088
1	2638381	1625420	1254355	396999	120218	43282
0,5	2483712	1474193	1117767	333368	97969	35240
0,1	2116714	1144117	831221	217006	60543	22107

Tablo 5.b. Binder karışımlarının farklı frekans ve sıcaklıklara göre hesaplanan dinamik rijitlik modülü

f (Hz)	Sıcaklık °C					
	-10	0	4,4	21,11	37,8	54,4
	E (psi)					
25	4038254	2858505	2362204	960291	339920	126805
10	3815511	2598052	2104944	791631	264159	95941
5	3639257	2400925	1914644	677936	216892	77551
1	3208296	1951774	1496085	459544	134899	47294
0,5	3015474	1765692	1329181	384139	109350	38301
0,1	2559234	1361341	980851	247277	66735	23738
0,05	2362292	1202196	849568	202688	53925	19451
0,025	2167193	1053581	730195	165390	43621	16021

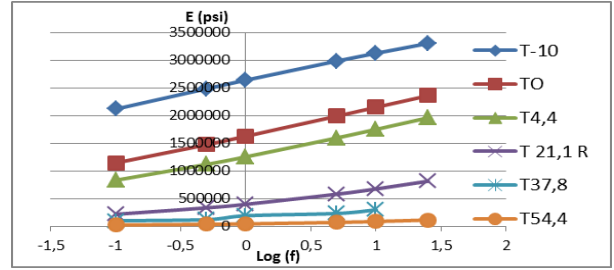
Tablo.5.c Bitümlü temel karışımlarının farklı frekans ve sıcaklıklara göre hesaplanan dinamik rijitlik modülü

f (Hz)	Sıcaklık °C					
	-10	0	4,4	21,11	37,8	54,4
	E (psi)					
25	4919053	3455300	2843283	1132926	391862	143008
10	4641859	3133797	2527135	929938	302819	107530
5	4422773	2890937	2293820	793635	247546	86507
1	3888100	2339304	1782553	533334	152345	52179
0,5	3649382	2111559	1579525	444045	122916	42058
0,1	3085940	1618603	1157728	283050	74194	25791
0,05	2843391	1425432	999568	230985	59668	21039
0,025	2603558	1245556	856226	187628	48040	17254

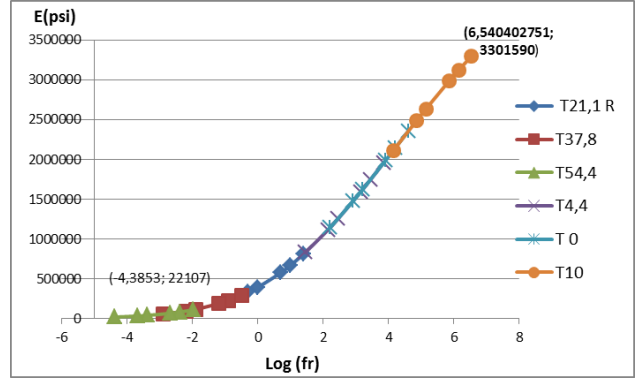
Belirtilen sıcaklık ve frekansta hesaplanan aşınma tabakasına ait dinamik rijitlik modülünün değişimi (Şekil 6) 21.1 °C referans sıcaklığına göre düzeltilmiş frekanslarla (Tablo-6) çizilen dinamik rijitlik modülü ana eğri Şekil 7’de gösterilmiştir. Bitümlü temel, binder tabakaları içinde aynı hesaplamalar yapılarak dinamik rijitlik modülü ana eğri çizilmiştir(Şekil 8).

Tablo 6. Referans sıcaklığında (21 11 °C) düzeltilmiş frekanslar

	Sıcaklık °C					
	-10	0	4,4	21,1	37,8	54,4
	Düzeltilmiş Frekans Log(f)					
6,540403	4,599605	3,841299	1,39794	-0,5	-1,98737	
6,142463	4,201665	3,443359	1	-0,898	-2,38531	
5,841433	3,900635	3,142329	0,69897	-1,199	-2,68634	
5,142463	3,201665	2,443359	0	-1,898	-3,38531	
4,841433	2,900635	2,142329	-0,30103	-2,199	-3,68634	
4,142463	2,201665	1,443359	-1	-2,898	-4,38531	
3,841433	1,900635	1,142329	-1,30103	-3,199	-4,68634	
3,540403	1,599605	0,841299	-1,60206	-3,5	-4,98737	

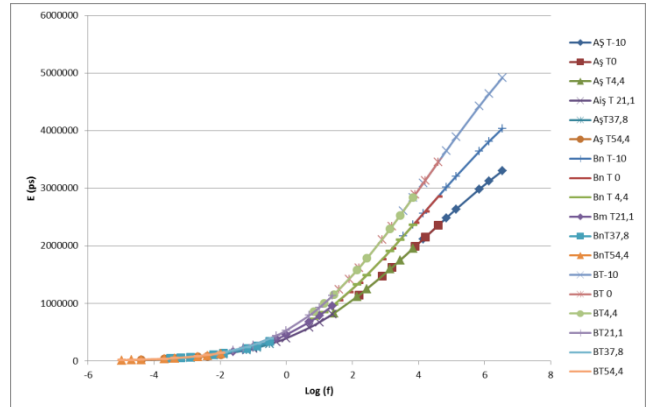


Şekil 6. Farklı sıcaklıklarda aşınma karışımının frekanslara göre dinamik modülü



Şekil 7. Referans sıcaklığında (21,1 °C) aşınma tabakasının dinamik rijitlik modülü ana eğrisi

Tabakaların referans sıcaklığına göre çizilen dinamik rijitlik modülü ana eğrilerinden görüleceği (Şekil-8) üzere 1 Hz’e kadar dinamik modülleri birbirine yakın olmasına karşın düşük sıcaklıklarda 1 Hz’den büyük frekanslarda tabakaların dinamik modülleri arasında fark atmaktadır; tasarımcıların analitik hesaplamalarda bu durumu göz önüne alması ekonomiklik ve yoğun trafigin olduğu kaplamaların performansı açısından önem arz etmektedir

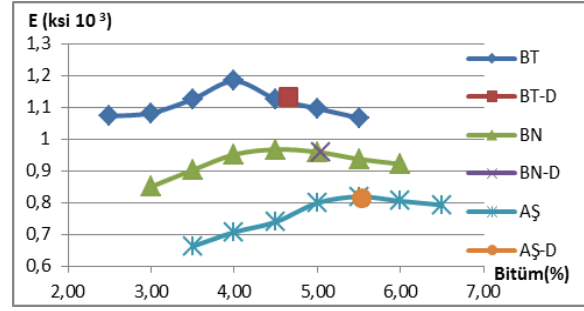


Şekil 8. Referans sıcaklığında (21,1 °C) aşınma binder, bitümlü temel tabakalarının dinamik rijitlik modülü ana eğrileri

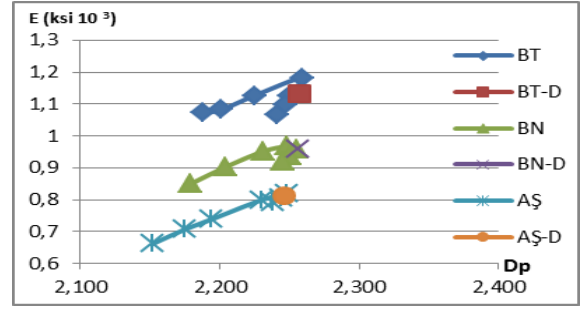
Ülkemizde tabakaların karışım dizaynında yaygın olarak kullanılan Marshall dizaynından elde edilen bitüm yüzdelere (W_a) göre pratik özgül ağırlık (D_p), boşluk (V_h), agregalar arası boşluk (VMA), bitümle dolu boşluk (V_f), akma ve stabiliteyle tabakaların rijitlik modülü arasında ilişkinin araştırılmasının deney zamanı, maliyetleri ve tasarımcıya analitik hesaplamalarda öngürüde bulunması açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Tabaka karışımlarının dizaynında kullanılan bitüm yüzdelere göre 21,1 °C referans sıcaklığında ve 25 Hz frekansta (0,04 sn yükleme süresi) hesaplanan dinamik rijitlik modüllerle (Tablo - 7) aynı bitüm yüzdesine ait Marshall dizayn sonuçları grafik olarak Şekil -9'da gösterilmiştir. Tabakaların dinamik modülünün Marshall briketi parametreleriyle ilişkisi incelendiğinde; Marshall biriketlerinin D_p , V_f , W_a ve stabilite değerlerinin artışıyla dinamik rijitlik modülü artarak maksimum noktaya ulaştıktan sonra tekrar düştüğü, V_h ve VMA değerleri azaldıkça dinamik modülün arttığı, V_h belli bir noktada dinamik modülü maksimum yaptıktan sonra boşluğun artmasıyla dinamik modülünde azaldığı tespit edilmiştir. Aşınma karışımlarında optimum bitüm yüzdesinde maksimum dinamik rijitlik modülü elde ederken diğer karışımlarda optimum bitümde maksimum dinamik modül elde edilmemiştir.

Tablo 7. Bitüm yüzdesine göre tabakaların dinamik modülü

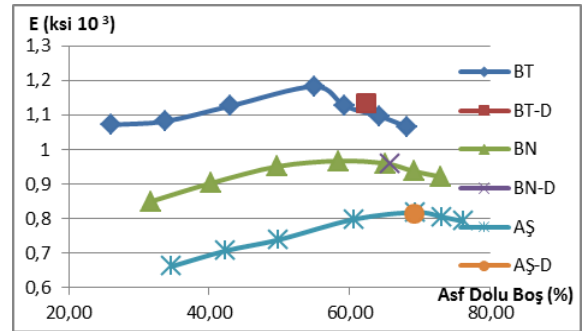
Bitümlü Temel		Binder		Aşınma	
W_a	E(psi)	W_a	E(psi)	W_a	E(psi)
2,50	1072405,87	3,00	850268,44	3,50	662395,96
3,00	1082487,30	3,50	902898,06	4,00	707087,63
3,50	1126418,55	4,00	951728,85	4,50	739358,58
4,00	1183213,77	4,50	967586,26	5,00	799036,88
4,50	1127162,91	5,00	959926,73	5,50	818742,88
5,00	1096751,07	5,50	937301,54	6,00	805088,81
5,50	1067039,54	6,00	921746,32	6,50	792536,86
Dzy 4,65	1132925,83	Dzy 5,04	960451,67	Dzy 5,54	814234,26



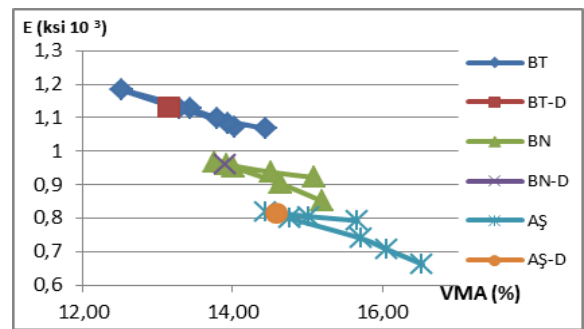
a) Dinamik Modül - W_a



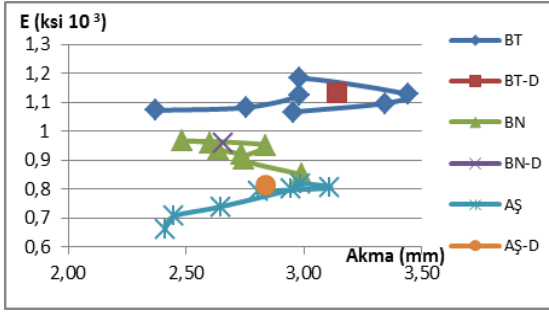
b) Dinamik Modül - D_p



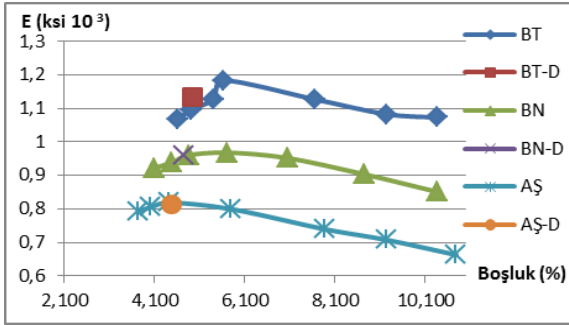
c) Dinamik Modül - V_f



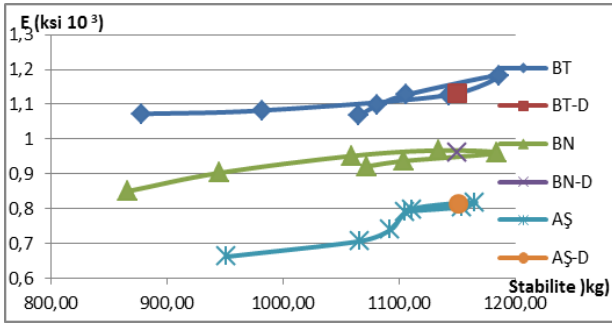
d) Dinamik Modül - VMA



e) Dinamik Modül – Akma



f) Dinamik Modül – Vh



g) Dinamik Modül – Stabilite

Şekil 9. Karışımların dinamik modül Marshall parameter eğrileri

Sonuçlar

Aşınma, binder ve bitümlü temel karışımlarının Marshall dizayn verileriyle belirtilen sıcaklık ve frekansta tahmin modeliyle hesaplanan dinamik rijitlik nodüllerinden,

- Karışımlarda 19 mm elek üzerinde kalan malzemenin dinamik rijitlik modülünü artırdığından, trafik yükü ve sıcaklıktan en fazla etkilenen aşınma tabakası karışımlarının kaplama konforunda dikkate alınarak maksimum dane boyutunun büyütülmesi
- Marshall dizaynından hesaplanan optimum bitümden sonraki bitüm

artışlarının dinamik rijitlik modülünü azalttığı

- Referans sıcaklığına göre 25 Hz frekansta bitümlü temel binder ve binder, aşınma tabakalarının dinamik rijitlik modülleri arasında %18 fark olduğu
- Aynı sıcaklıkta frekans azaldıkça ve aynı frekansta sıcaklık yükseldikçe dinamik rijitlik modülüm azaldığı
- Sıcaklıkların yükleme sürelerine göre dinamik rijitlik modülünü daha fazla etkilediği
- Marsahall stabilitesi ve akma değerlerinin deney sıcaklıklarının, projenin sıcaklık değerleri göz önüne alınarak belirlenmesi buna göre tabakaların izafi mukavemet katsayılarının hesaplanması gerektiği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kök Eda, “ Karayolu Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemleri Karşılaştırılması ve Türkiye Uygulamaları” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , 2-3, 2008,
- [2] A.Stephen,P.Cross,“Determination of Dynamic Modulus Master Curves for Oklahoma HMA Mixtures” Oklahoma State University, Final Report, - 5 ,(2007)
- [3] AASHTO, Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide , 10-27, 2008,
- [4] KGM, Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Teknik Araştırmas Dairesi Üst Yapı Şubesi Müdürlüğü, 5-99,2008
- [5] Karayolları Genel Müdürlüğü Birim Fiyatları <https://birimfiyat.com/> (17.09.2019)
- [6] A.Güngör, A.Sağlık “ Mekanistik Amprik Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uygulanması” Gazi University 18 Publication ,4-7,2009
- [7] A.Tunç, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı ,199-201 ,2004
- [8] K.Sarayoot,“Comparison Between Resilient Modülüs and Dinamic Modülüs of Western Australian Hot Mix Asphalt Basaed on Fleixible Pavement Design Prespectives” 26th ARRB Conference -Reseach

- Driving Efficiency Sdney ,1-18, Sempozyumu (İATS'09), 1-4,2009
- [9] R.Timothy,"Dynamic and Resilient Modulus of Mn/DOT Asphalt Mixtures "Department of Civil EngineeringUniversity of Minnesota Technical ReportDocumentation,14,2003
- [10] M Y.Huang Pavement Analysis and Design Second Edition ,307,2006
- [11] Y.Xiao "Evaluation of Engineering Properties of Hot Mix Asphalt Concrete for the Mechanistic-Empirical Pavement Design"Ph.D thesis. Florida State University ,20-41,2009
- [12] S. Cross, "Development of a Flexible Pavement Database for Local Calibration of the MEPDG",Final Report – FHWA-OK-11-06 (2), 7-22,2011
- [13] G.Garcia ,M. Thompson, "HMA Dynamic Modulu Predictive Models –A Review" Research Report FHWA-ICT-07-005 ,8-20,2007
- [14] A.Enwuso, "Comparative Study of Asphalt Institute – Witczak 1-40D Dynamic Moduli for Polythene Bag Modified HMA Concrete Using Predictive Models" International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol 3 Issue 5 IJSET , 46-48,2016
- [15] S.Avcı,"Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin AASHTO 2002 İle AASHTO 1993 Yöntemlerinin Karşılaştırılması "İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 10-23,2006
- [16] M.Robbins," Thesis Graduate ,An Investigation Into Dynamic Modulus of Hot –Mix Asphalt AndIt's Contributing Factors"Graduate Faculty of Auburn University 17-21,2009
- [17] S.Yousefdoost,B.Vuong,P.Armstrong and B,Sullivan" Evaluation of Dynamic Modulus Predictive Models for Typical Australian Asphalt Mixes" 15th AAPA International Flexible Pavements Conference, 3-7,2013
- [18] N.Kuloğlu ,"Bittüm ve Bittümlü Sıcak Karışım Rijitliğine Etki Eden Parametreler" Turk J Engin Environ Sci 25 (2001) , 61 -67 TÜBİTAK, 2001
- [19] E.Sayın ,H.Tanyıldızı, "Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğinin Bulanık Mantık ile Bulunması" Gazi Üniv Müh Mim Fak Der J Fac Eng Arch Gazi Univ Cilt 21, No 4, 645-649, 2006. ,
- [20] E.Özgan, M. Emiroğlu,A.Beycioğlu , K.Yıldız "Asfalt Beronunda Rijitliğin Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım", 5 Uluslararası İleri Teknolojiler
- [21] M.Yılmaz, B.V.Kök,"Sivas Divriği Çelik Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliği" C Ü Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 30 Sayı 1 1-18,
- [22] M.Alataş , A.Perviz A, Y.Doğan," Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agrega Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi" Fırat Üniv Fen veMüh Bil Der Science and Eng J of F ırat Univ 18 (1), 81-89,2006 Conference -
- [23] G.Garcia ,M.Thompso,"HMA Dynamic Modulu Predictive Models–Temperature Relations" Research Report FHWA-ICT-07-006,2-65,2007
- [24] R.Timothy ,"Dynamic and Resilient Modulus of Mn/DOT Asphalt Mixtures "Department of Civil EngineeringUniversity of Minnesota Technical Report Documentation,14,2003
- [25] T.Bennert 2009 "Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt"FHWA-NJ-2009-011 Final Report,60-81,2009
- [26] Y.Jianhu,"Modification of Dynamic Modulus PredictiveModels for Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Shingles " A thesis Submitted to the Graduate Faculty Iowa State University ,9-72,2012
- [27] Y.Huanan , S.Shen,"An Investigation of Dynamic Modulus And Flow Number Proporties of Asphalt Mixtures İn Washington Washington State "University Research Project Agreement No 709867 Final Report ,14-81,2012
- [28] J.L.Hyun"Performance Evaluation of High Modulus Asphalt Mixtures for Long Llife Asphalt Pavements" Construction and Building Materials 21 (2007) 1079–1087 2007
- [29] A.Sağlık,A.G.Güngör ,"Resilent Modulus Of Unbound and Bituminous Bound Road Materials" 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 5-9,2012
- [30] J.Stempihar, "Resilient Modulus to Dynamic Modulus Relationship and Pavement Analysis with the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide" Research Report Arizona State University 2-6,2015
- [31] S.Esfandiarpour ,"An evaluation of Pavement ME Design dynamic modulus prediction model for asphalt mixes containing RAP" The 2015 Conference of the Transportation Association of Canada 3-18,2015
- [32] J.Myung ,J. Younghan,"Dynamic Complex Modulus Prediction of Non-Conventional Asphalt Mixes" 51st ASC Annual International Conference Proceedings 2-8,2015.

Kafes yapıların JAYA algoritmasıyla doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarımı

JAYA algorithm for optimum design of truss structures under natural frequency constraints

S. Özgür Değertekin^{1*}, Gülay Yalçın Bayar²

¹ Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, sozgurd@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8885-6468

² Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, gybayar@dicle.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7575-8559

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 18 Nisan 2020
Düzeltilme: 8 Mayıs 2020
Kabul: 15 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Optimum Tasarım, Kafes Yapılar,
Doğal Frekans Sınırlayıcıları,
JAYA Algoritması.

ÖZET

Bu çalışma ile düzlem ve uzay kafes yapıların doğal frekans sınırlayıcıları altında Jaya algoritması kullanılarak optimum (minimum ağırlıklı) tasarımı yapılmıştır. Jaya, Sanskritçe'de "Zafer" anlamına gelmektedir. Jaya algoritması (JA), optimum tasarım probleminin çözümünde en iyi çözüme yaklaşma ve en kötü çözümden uzaklaşma prensibini esas almaktadır. JA'nın geçerliliğini göstermek için daha önce farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiş olan 200 elemanlı düzlem kafes ve 72 elemanlı uzay kafes yapılar kullanılmıştır. JA'nın performansı, optimum ağırlık ve optimum ağırlığın elde edilmesi için gerekli yapı analiz sayısı bakımından literatürdeki diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar, JA'nın literatürdeki diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edebildiğini göstermektedir.

Doi: 10.24012/dumf.722958

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 April 2020
Revised: 8 May 2020
Accepted: 15 May 2020

Keywords:

Optimum Design, Truss
Structures, Natural Frequency
Constraints, JAYA Algorithm.

ABSTRACT

In this study, Jaya algorithm (JA) is proposed for optimum design of planar and spatial trusses under natural frequency constraints. Jaya means "Victory" in Sanskrit. The algorithm is based on the concept that the solution obtained for a given optimization problem which should move toward the best solution and must avoid the worst solution. Sizing optimization of 200-bar planar and 72-bar spatial truss structures previously optimized by different optimization methods are used to demonstrate the validity of JA. The performance of JA is compared to other optimization methods in terms of optimized weight and number of structural analyses required to obtain optimum design. These comparisons showed that JA could obtain better results than other optimization methods in the literature.

* Sorumlu yazar / Correspondence

✉ sozgurd@gmail.com

Giriş

Klasik optimizasyon yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan sezgisel optimizasyon yöntemleri her türlü optimizasyon probleminin çözümünde otuz yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar (GA) [1], karınca koloni optimizasyonu (ACO) [2], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [3], öğretmen-öğrenme esaslı optimizasyon (TLBO) [4] başlıca sezgisel optimizasyon yöntemleri arasındadır. Sezgisel optimizasyon yöntemlerinin ortak özelliği doğal bir olay veya süreçle optimizasyon problemleri arasında analogi kurmayı esas almalarıdır.

Kafes yapılar tüm dünyada en yaygın kullanılan yapı sistemleri arasındadır. Depo ve fabrika binaları, hangarlar, alışveriş merkezleri, kapalı spor salonları, kongre merkezleri vb. birçok inşaat projesinde kafes yapı sistemleri tercih edilmektedir. Bu yaygın kullanımla birlikte nitelikli işçiliğin gerekliliği, periyodik bakım ve malzeme maliyeti dikkate alınarak kafes yapıların ekonomik olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla, kafes yapıların optimum tasarımı konusunda farklı optimizasyon yöntemlerinin kullanıldığı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, tasarım sınırlayıcıları olarak genelde gerilme ve deplasman sınırlayıcıları alınırken, bazılarında ise doğal frekans sınırlayıcıları kullanılmıştır.

Herhangi bir dış kuvvete maruz kalmaya bile her yapının belli bir frekansta titreşim hareketi yaptığı bilinmektedir. Doğal titreşim adı verilen bu titreşim, yapının kütlesi ve rijitliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Herhangi bir yapıdaki doğal frekans sayısı yapının serbestlik derecesi sayısına eşit alınmaktadır.

Yapının zorlanmış titreşim (dışarıdan bir kuvvet uygulandığı durum) frekansları ile doğal titreşim frekanslarının çakışması halinde titreşim genliği çok büyük değerlere ulaşacaktır. Bunun sonucunda, rezonans adı verilen durum ortaya çıkarak yapıda toptan göçmeye neden olacaktır. Dolayısıyla doğal frekanslarının bilinmesi ve zorlanmış frekanslarla çakışmasının önlenmesi

yapı emniyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Yapı sistemlerinin doğal frekansları özdeğer probleminin çözülmesi ile elde edilmektedir. Bu çözüm sonucu elde edilen en küçük özdeğer, sistemin birinci doğal frekansını ve elde edilen diğer özdeğerler sırasıyla sistemin sonraki doğal frekans değerlerini göstermektedir. Optimum tasarım probleminde ise, doğal frekans sınır değerlerini sağlayan minimum ağırlıklı yapının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Kafes yapıların doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarımı daha önce; modifiye edilmiş öğrenme-öğretme esaslı optimizasyon (MS-TLBO) [5], sınıf-esaslı optimizasyon (SBO) [6], çevrimsel üreme algoritması (CPA) [7], titreşen parçacık sistem algoritması (VPS) [8], gelişmiş evrim algoritması ReDE [9], modifiye edilmiş ateş böceği algoritması (AHEFA) [10], yapay kan dolaşımı algoritması (EACCS) [11] ve hipotroloid sarmal optimizasyonu (HSPO) [12] gibi sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak icra edilmiştir.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan nispeten yeni olan bir diğer sezgisel optimizasyon yöntemi ise JAYA algoritmasıdır (JA). JA ilk olarak Rao [13] tarafından sınırlayıcı ve sınırlayıcısız fonksiyonların optimizasyonu için önerilmiş, sonrasında elektromekanik sistemlerinin optimum boyutlandırması [14] ve güç sistemlerinin optimizasyonu [15] gibi alanlarda kullanılmıştır. JA'nın yapı mühendisliğinde de uygulamaları mevcut [16,17] olmakla birlikte, yapılan çalışmalar kafes yapıların gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında optimum tasarımı konusundadır.

Bu çalışma ile JA'nın kafes yapıların doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarımında ilk kez kullanılması amaçlanmaktadır. JA'nın performansı daha önce farklı sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı yapılmış olan 200 elemanlı düzlem kafes ve 72 elemanlı uzay kafes yapıları üzerinde test edilmiştir. JA'nın performansı, optimum ağırlık ve optimum

ağırlığın elde edilmesi için gerekli yapı analiz sayısı bakımından literatürdeki diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar, JA'nın literatürdeki diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edebildiğini göstermektedir. Çalışmada, ilk olarak optimum tasarım probleminin formülasyonu verilmiş, ardından JA açıklanmış ve JA ile kafes yapıların doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarım algoritması sunulmuştur. Daha sonra, JA ve diğer optimizasyon yöntemlerinden bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son olarak ise çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Optimum tasarımının probleminin formülasyonu

Bu çalışmada, doğal frekans sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı kafes yapıların elde edilmesi amaçlanmakta olup optimum tasarım problemi:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Minimum } W(A) = \sum_{i=1}^{ng} A_i \sum_{j=1}^{mk} \rho_j L_j \quad (1)$$

$$A_i^{min} \leq A_i \leq A_i^{maks}, \quad i = 1, 2, \dots, ng$$

$$\text{Tasarım değişkenleri: } A = [A_1, A_2, \dots, A_{ng}] \quad (2)$$

$$\text{Doğal frekans sınırlayıcıları: } \omega_k \leq \omega_k^u \quad (3)$$

$$\omega_l \geq \omega_l^l$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada A tasarım değişkenlerini (eleman gruplarını) içeren bir vektör olup her eleman grubuna ait enkesit alanlarını göstermektedir. ng kafes yapıdaki tasarım değişkeni sayısını (eleman grup sayısı), ρ_j ve L_j sırasıyla j 'nci elemanın özgül ağırlığını ve uzunluğunu, mk i 'nci tasarım değişkenindeki toplam eleman sayısını, $W(A)$ kafes yapının ağırlığını, A_i^{min} ve A_i^{maks} i 'nci tasarım değişkeninin alabileceği minimum ve maksimum enkesit alanlarını, ω_k ve ω_k^u kafes yapının k 'nci doğal frekans değerini ve bunun alabileceği en büyük değeri, ω_l ve ω_l^l kafes yapının l 'nci doğal frekans değerini ve bunun alabileceği en küçük değeri göstermektedir.

Kafes yapıların optimum tasarımı yapılırken doğal frekans sınırlayıcılarını sağlayan veya sağlamayan tasarımları ayırt edebilmek için cezalandırılmış amaç fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon kullanılmaktadır. Bu fonksiyon ile sınırlayıcıları sağlamayan kafes yapılar sınırlayıcı sağlamama derecelerine göre cezalandırılmaktadır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ($f_p(A)$) şu şekilde ifade edilebilir:

$$f_p(A) = (1 + v)^\varepsilon \times W(A) \quad (4)$$

burada ε üstel ceza katsayısı olup bu çalışmada 2 alınmıştır. v sınır değerleri sağlamayan cezalı doğal frekans sınırlayıcılarının toplamı olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v = \sum_{k=1}^{nk} v_\omega^k + \sum_{l=1}^{lk} v_\omega^l \quad (5)$$

burada nk ve lk sırasıyla alttan ve üstten sınırlandırılmış doğal frekans sınırlayıcı sayısını, v_ω^k ve v_ω^l ise k 'nci ve l 'nci doğal frekanslar için ceza değerleri olup şu şekilde hesaplanır:

$$v_\omega^k = 0 \quad \text{eğer } \omega_k \leq \omega_k^u$$

$$v_\omega^k = \left| \frac{\omega_k - \omega_k^u}{\omega_k^u} \right| \quad \text{eğer } \omega_k > \omega_k^u$$

$$v_\omega^l = 0 \quad \text{eğer } \omega_l \geq \omega_l^l$$

$$v_\omega^l = \left| \frac{\omega_l - \omega_l^l}{\omega_l^l} \right| \quad \text{eğer } \omega_l < \omega_l^l \quad (6)$$

JAYA algoritması (JA)

JA optimizasyon sürecinde her iterasyonda tasarım değişkenlerini (kafes yapıdaki eleman grupları) modifiye ederek optimum çözümü elde etmeyi amaçlamaktadır. $A_{i,l,it}$; it 'nci iterasyondaki l -nci tasarım için i -nci tasarım değişkenini temsil etmek üzere aşağıdaki bağıntıyla modifiye edilir:

$$A_{i,l,it}^{yeni} = A_{i,l,it} + r_{1,i,it} (A_{i,best,it} - |A_{i,l,it}|) - r_{2,i,it} (A_{i,worst,it} - |A_{i,l,it}|) \quad (7)$$

burada $A_{i,l,it}^{yeni}$ modifiye edilmiş tasarım değişkenini, $r_{1,i,it}$ ve $r_{2,i,it}$ it 'nci iterasyondaki i 'nci tasarım değişkeni için $[0,1]$ aralığında rastgele üretilen reel sayıları, $A_{i,best,it}$ ve $A_{i,worst,it}$ it 'nci iterasyondaki en iyi ve en kötü tasarımların i 'nci tasarım değişkenini göstermektedir. Denklemdeki $r_{1,i,it}(A_{i,best,it} - |A_{i,l,it}|)$ mevcut tasarımın en iyi tasarıma yaklaşma eğilimini, $-r_{2,i,it}(A_{i,worst,it} - |A_{i,l,it}|)$ mevcut tasarımın en kötü tasarımdan uzaklaşma eğilimini ifade etmektedir. $r_{1,i,it}$ ve $r_{2,i,it}$ reel sayıları tasarım uzayının daha etkili araştırılmasını sağlarken, $|A_{k,l,it}|$ mutlak değeri arama kabiliyetinin güçlendirilmesini sağlamaktadır [13].

JA'da ilk olarak popülasyon sayısı kadar rasgele olarak başlangıç tasarımları üretilir. Sonrasında popülasyondaki her bir tasarım (7) bağıntısıyla modifiye edilerek yeni bir tasarım elde edilir. Yeni tasarım önceki tasarımdan daha iyi ise önceki tasarımın yerine geçer, aksi halde önceki tasarım değişmez. Popülasyondaki tüm tasarımlar için bu işlemler tekrarlanarak bir iterasyon tamamlanır. Her iterasyonda aynı işlemler tekrarlanır. Maksimum iterasyon sayısının aşılması durumunda optimizasyon işlemi bitirilir.

JA ile kafes yapıların doğal frekans sınırlayıcıları altında optimum tasarım algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- i. Popülasyon sayısını (np) ve maksimum iterasyon sayısını (it_{maks}) belirle. Burada popülasyondaki her bir tasarım bir kafes yapıyı temsil etmektedir. Her kafes yapı tasarımı için yapı analizi yaparak, (1)-(6) bağıntıları ile cezalandırılmış amaç fonksiyonunu elde et. İterasyon sayacını başlat, $it=0$.
- ii. İterasyon sayacını arttır, $it=it+1$.
- iii. En iyi ($f_p^{\min}(A)$) ve en kötü ($f_p^{\max}(A)$) cezalandırılmış amaç fonksiyonuna sahip kafes yapı tasarımlarını belirle. Kafes yapı tasarım sayacını sıfırla $id=0$.
- iv. Kafes yapı tasarım sayacını arttır $id=id+1$.

- v. (7) bağıntısı ile kafes yapıdaki tüm tasarım değişkenlerini modifiye ederek yeni kafes yapı tasarımını elde et.
- vi. Yeni kafes yapı tasarımı için yapı analizi yap, (1)-(6) bağıntıları vasıtasıyla cezalandırılmış amaç fonksiyonunu elde et ($f_p^{yeni}(A)$).
- vii. Yeni elde edilen kafes yapıya ait cezalandırılmış amaç fonksiyonunu ile önceki kafes yapıya ait cezalandırılmış amaç fonksiyonunu kıyasla. Eğer $f_p^{yeni}(A) \leq f_p^{id}(A)$ ise, yeni üretilen tasarımı önceki tasarımın yerine ata, aksi halde önceki tasarımı değiştirme.
- viii. Eğer $id=ps$ ise, ix 'nci adıma git, değilse iv 'ncü adıma git.
- ix. Eğer $it=it_{maks}$ ise x 'ncü adıma git, değilse ii 'nci adıma git.
- x. Doğal frekans sınırlayıcılarını sağlayan minimum ağırlıklı kafes yapı tasarımını optimum tasarım olarak ata, optimizasyon işlemi bitir.

Tasarım örnekleri

Daha önce MS-TLBO [5], SBO [6], CPA [7], VPS [8], ReDE [9], AHEFA [10], EACCS [11] ve HSPO [12] yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı yapılmış olan 200 elemanlı düzlem kafes ve 72 elemanlı uzay kafes yapılar bu çalışmada JA yöntemi ile optimize edilmiş ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Çalışmada sunulan algoritma MATLAB programlama dilinde kodlanmıştır. Yapılan kodlamanın icrası ile elde edilen sonuçların doğruluğu, SAP 2000 v20 [18] yapı analiz programıyla teyit edilmiştir.

JA, farklı popülasyon sayısı (np) değerleri için ayrı ayrı icra edilmiş ve en hafif kafes yapı ağırlığı $np=20$ için elde edildiğinden popülasyon büyüklüğü 20 olarak seçilmiştir. JA'nın farklı başlangıç tasarımları için birbirine yakın sonuçlar elde edemeyeceği test edilmek istenmiştir. Bu amaçla, yöntem 20 farklı başlangıç popülasyonu için 20 farklı kez icra

edilmiştir. Bu farklı icralar sonunda bulunan yapı tasarımları arasında optimum (minimum ağırlıklı) olan kafes yapının ağırlığı, bu kafes yapıya ait tasarım değişkenleri, optimum ağırlığın bulunması için gerekli yapı analiz sayısı ve doğal frekans sınırlayıcıları için ihlal yüzdeleri tablolarda verilmiştir. Ayrıca, 20 farklı

tasarım için elde edilen ortalama ağırlık ve standart sapma gibi istatistiksel verilerde tablolarda sunulmuştur. 200 elemanlı düzlem kafes ve 72 elemanlı uzay kafes yapılarına ait malzeme özellikleri, enkesit alanlarının alabileceği sınır değerleri ve doğal frekans sınırlayıcıları için tanımlanan sınır değerler Tablo 1’de verilmiştir.

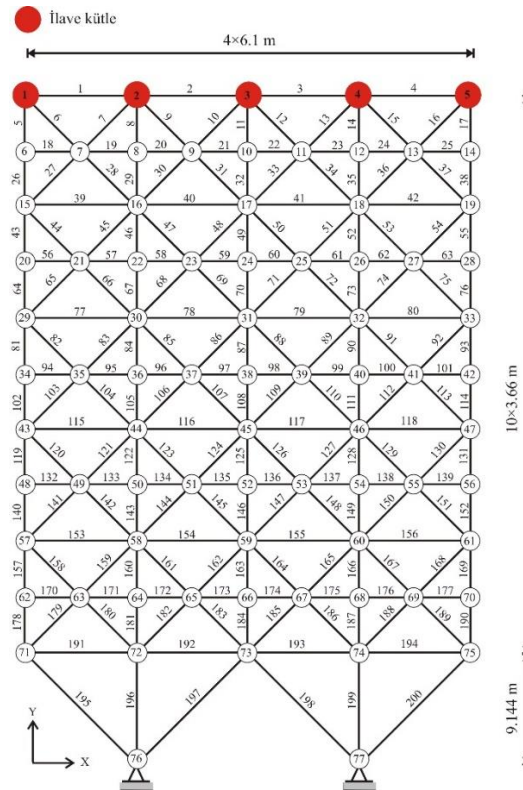
Tablo 1. Tasarım örneklerine ait malzeme özellikleri, enkesit alan sınırları ve doğal frekans sınırlayıcıları.

Tasarım örneği	Elastisite modülü E (N/m ²)	Malzeme özgül ağırlığı ρ (kg/m ³)	Enkesit alan sınırları (m ²)	Doğal frekans sınırlayıcıları (Hz)
200 elemanlı düzlem kafes	2.1×10^{11}	7860	$0.1 \times 10^{-4} \leq A$	$\omega_1 \geq 5, \omega_2 \geq 10, \omega_3 \geq 15$
72 elemanlı uzay kafes	6.89×10^{10}	2770	$645 \times 10^{-4} \leq A \leq 20 \times 10^{-4}$	$\omega_1=4, \omega_2=4, \omega_3 \geq 6$

200 elemanlı düzlem kafes yapı

200 elemanlı düzlem kafes yapı Şekil 1’deki gösterilmiştir. Kafes yapıda 29 tasarım değişkeni mevcuttur. Tasarım değişkenleri ve bunların ihtiva ettiği elemanlar Tablo 2’de verilmiştir. Yapının en üst katındaki düğüm noktalarında 100 kg ilave kütle mevcuttur.

Tablo 3’de JA ve literatürdeki diğer yöntemlerden elde edilen optimum tasarım sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 4’de ise; Tablo 3’deki optimum tasarımlara ait ilk üç doğal frekans değerleri ve aynı tasarımların SAP 2000 v20’de [18] analizi sonucu bulunan değerler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 1. 200 elemanlı düzlem kafes yapı

Tablo 2. 200 elemanlı düzlem kafes yapıya ait tasarım değişkenleri

Tasarım değişkeni	Eleman numarası	Tasarım değişkeni	Eleman numarası
1	1,2,3,4	16	82,83,85,86,88,89,91,92,103,104,106,107,109,110,112,113
2	5,8,11,14,17	17	115,116,117,118
3	19,20,21,22,23,24	18	119,122,125,128,131
4	18,25,56,63,94,101,132,139,170,177	19	133,134,135,136,137,138
5	26,29,32,35,38	20	140,143,146,149,152
6	6,7,9,10,12,13,15,16,27,28,30,31,33,34,36,37	21	120,121,123,124,126,127,129,130,141,142,144,145,147,148, 150,151
7	39,40,41,42	22	153,154,155,156
8	43,46,49,52,55	23	157,160,163,166,169
9	57,58,59,60,61,62	24	171,172,173,174,175,176
10	64,67,70,73,76	25	178,181,184,187,190
11	44,45,47,48,50,51,53,54,65,66,68,69,71,72,74,75	26	158,159,161,162,164,165,167,168,179,180,182,183,185,186,188,189
12	77,78,79,80	27	191,192,193,194
13	81,84,87,90,93	28	195,197,198,200
14	95,96,97,98,99,100	29	196,199
15	102,105,108,111,114		

Tablo 3. 200 elemanlı düzlem kafes yapıda optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)	MS-TLBO [5]	SBO [6]	AHEFA [10]	EACCS [11]	HSP0 [12]	JA
1	0.29167	0.3040	0.29930	0.31750	0.30143	0.29714
2	0.48527	0.4478	0.45080	0.44520	0.45938	0.489687
3	0.10005	0.1000	0.10010	0.10040	0.07811	0.100000
4	0.1000	0.1000	0.1000	0.10040	0.0983	0.100729
5	0.49666	0.5075	0.51230	0.49640	0.50624	0.557893
6	0.8318	0.8219	0.8205	0.8226	0.8199	0.793506
7	0.10000	0.1003	0.10110	0.10950	0.10000	0.100000
8	1.40851	1.4240	1.41560	1.38780	1.39676	1.435431
9	0.10000	0.1001	0.10000	0.10060	0.10000	0.101238
10	1.58732	1.5929	1.57420	1.54650	1.57350	1.649521
11	1.1249	1.1597	1.1597	1.1514	1.1490	1.148061
12	0.10078	0.1275	0.13380	0.15920	0.11859	0.108915
13	2.98830	2.9765	2.96720	2.99790	3.10264	2.972128
14	0.10234	0.1001	0.10000	0.10070	0.10000	0.100000
15	3.33456	3.2456	3.27220	3.27260	3.24327	3.421181
16	1.5990	1.5818	1.5762	1.5753	1.5968	1.569461
17	0.18763	0.2566	0.25620	0.27680	0.24217	0.143344
18	5.14985	5.1118	5.09560	5.04340	5.39675	5.286264
19	0.10059	0.1001	0.10010	0.10760	0.10000	0.100000
20	5.37321	5.4337	5.45460	5.44900	5.25824	5.577982

21	2.0885	2.1016	2.0933	2.1447	2.1434	2.091733
22	0.63412	0.6794	0.67370	0.67450	0.8293	0.657104
23	7.66597	7.6581	7.64980	7.69670	7.30130	7.778857
24	0.10000	0.1006	0.11780	0.13530	0.11284	0.100000
25	7.99043	7.9468	8.06820	7.71060	7.91076	7.984943
26	2.8246	2.7835	2.8025	2.7915	2.86741	2.836508
27	10.42712	10.5277	10.50400	10.37550	10.8526	10.52663
28	21.42957	21.3027	21.29350	21.33640	20.89930	21.66231
29	10.63218	10.6207	10.74100	10.73450	10.75149	10.29429
Optimum ağırlık (kg)	2160.351	2156.5070	2160.7445	2156.3651	2157.7116	2172.22571
Ortalama ağırlık (kg)	2214.627	2156.7870	2161.0393	2157.6554	2169.0492	2193.155
Standart sapma (kg)	87.1835	0.2110	0.1783	1.7683	10.8148	10.70989
Sınırlayıcı ihlal yüzdesi (%)	0.7553	1.0070	0.9947	0.9867	0.236	0.0000
Yapı analiz sayısı	10000	23000	11300	23000	11640	13240

Tablo 4. 200 elemanlı düzlem kafes yapıda optimum tasarımlara ait doğal frekans değerleri

Frekans no (Hz)	MS-TLBO [5]	SBO [6]	AHEFA [10]	EACCS [11]	HSPO [12]	JA
1	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.000011
1*	4.9896	4.9878	4.9904	4.9871	4.9882	5.000011
2	12.1366	12.21412	12.1821	12.3137	12.1499	12.26016
2*	12.1117	12.1850	12.1516	12.2835	12.1213	12.26016
3	15.0529	15.01918	15.0160	15.0226	15.0004	15.01977
3*	14.8867	14.8499	14.8508	14.8520	15.0004	15.01977

*SAP 2000 v20'den [18] elde edilen doğal frekans değerleri

JA ile 2172.2257 kg ağırlığındaki optimum tasarım 13240 yapı analizi sonunda elde edilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde ilk başta JA ile bulunan optimum tasarımın, tüm yöntemlerden daha ağır olduğu gözükmemektedir. Ancak, JA dışındaki tüm yöntemlerin Tablo 1'de verilen ω_1 ve ω_3 doğal frekans sınırlayıcılarını %0.236 ile %1.007 arasında değişen oranlarda ihlal ettiği, JA'nın ise doğal frekans sınırlayıcılarını tam olarak sağladığı tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, Tablo 3'de sunulan tasarımlar arasında yapılabilir (feasible) olan tek tasarım JA ile elde edilmiştir. Diğer yöntemlerden elde edilen tasarımlar doğal frekans sınırlayıcılarını

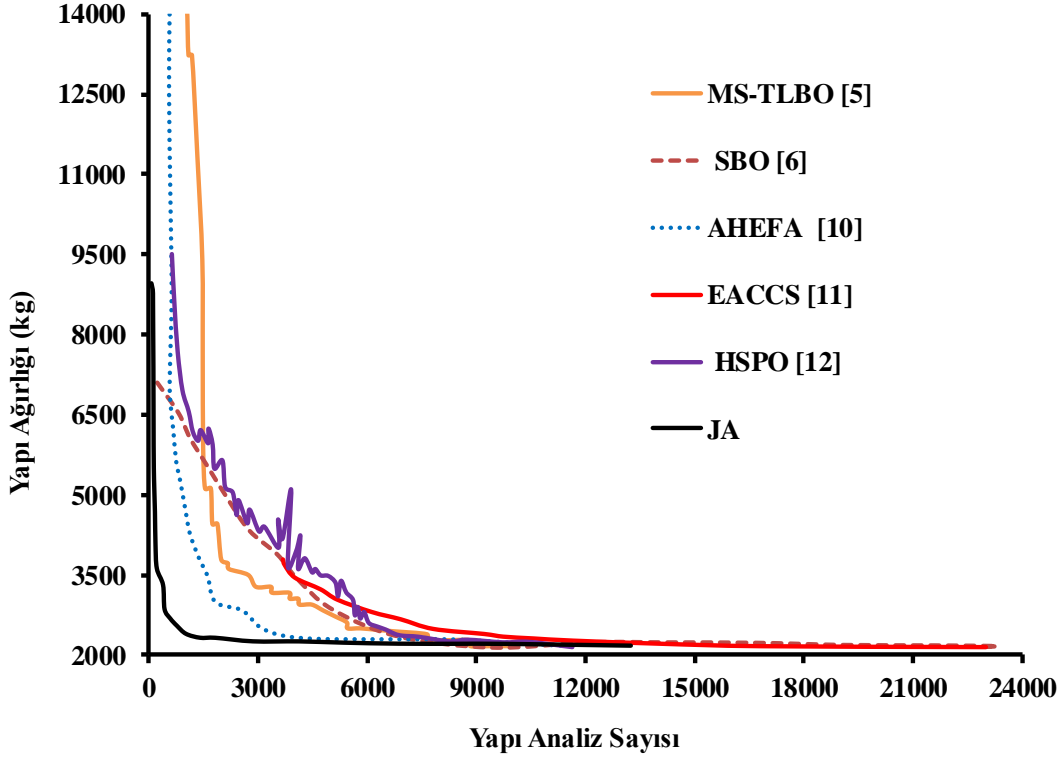
ihlal ettiğinden optimum tasarım olarak kabul edilmeleri mümkün değildir. Tablo 4'de doğal frekans değerleri karşılaştırıldığında JA ve SAP 2000 v20'den [18] elde edilen doğal frekans değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu durum, JA için geliştirilen MATLAB kodunun doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 3'de, JA'nın 20 farklı icrası sonunda bulunan 20 farklı nihai tasarım için hesaplanan standart sapma değeri 10.70989 kg olarak verilmiştir. Bu değer, 2193.155 kg olan ortalama değerinde sadece %0.49'u mertebesinde. Bu sonuç, JA'nın farklı başlangıç popülasyonları üretmesine karşın

birbirine oldukça yakın tasarımları bulabildiğini kanıtlamaktadır.

Tablo 3’de verilen diğer yöntemler doğal frekans sınırlayıcılarını ihlal ettiğinden optimum tasarımı bulmak için gereken yapı analiz sayısı bakımından JA ile karşılaştırmaları objektif bir değerlendirme

olmayacaktır. Bununla birlikte, JA’nın SBO [6] ve EACSS [11] yöntemlerinden daha az analiz sayısı gerektirdiği de görülmektedir. 200 elemanlı düzlem kafeste JA ve diğer yöntemlerin optimizasyon sürecinde elde ettikleri yapı ağırlıklarının yapı analiz sayıları ile değişimi Şekil 2’deki gibidir.



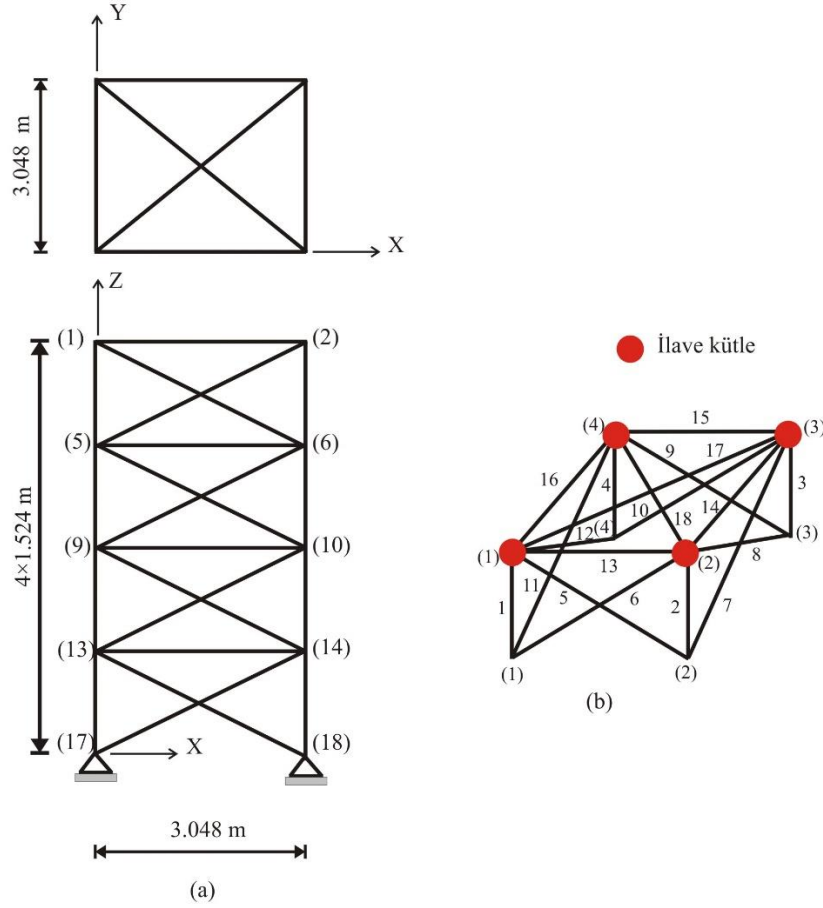
Şekil 2. 200 elemanlı düzlem kafeste yapı ağırlığı ile yapı analiz sayısının değişimi

Şekil 2’deki eğriler incelendiğinde, JA’nın diğer tüm yöntemlerden daha önce optimum tasarıma yakın sonuçları bulabildiği görülmektedir. JA, 2253.338 kg ağırlığında optimum ağırlığa oldukça yakın bir tasarımı sadece 2258 yapı analizi sonunda elde etmiştir. Bu durum; JA’nın optimum tasarıma yakın tasarımları oldukça hızlı bir şekilde bulabildiğini göstermektedir.

72 elemanlı uzay kafes yapı

İkinci tasarım örneği olan 72 elemanlı uzay kafes yapı Şekil 3’te gösterilmiştir. Yapıda 16 tasarım değişkeni kullanılmış ve eleman gruplandırılması Tablo 5’te verilmiştir. Yapının en üst katındaki düğüm noktalarına 2270 kg ilave kütle bulunmaktadır.

Tablo 5’de JA ve literatürdeki diğer yöntemlerden elde edilen optimum tasarımlara ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 6’da ise ilk üç doğal frekans değerleri SAP 2000 v20 [18] ile kıyaslamalı olarak sunulmuştur.



Şekil 3.72 elemanlı uzay kafes yapı (a) boyutlar (b) en üst kat eleman ve düğüm numaralandırılması

Tablo 5. 72 elemanlı uzay kafes yapıda optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)	MS-TLBO [5]	SBO [6]	VPS [7]	CPA [8]	ReDE [9]	AHEFA [10]	EACCS [11]	HSPO [12]	JA
A ₁ -A ₄	3.33350	3.49170	3.50170	3.32900	3.53270	3.56120	3.71220	3.43147	3.410165
A ₅ -A ₁₂	7.90540	7.94140	7.93400	7.84100	7.83030	7.87360	7.74340	7.84360	7.640199
A ₁₃ -A ₁₆	0.64690	0.64500	0.64500	0.64500	0.64530	0.64500	0.64680	0.64500	0.64500
A ₁₇ -A ₁₈	0.64510	0.64500	0.64500	0.64500	0.64590	0.64510	0.69700	0.64500	0.64500
A ₁₉ -A ₂₂	7.99800	8.11540	8.02150	8.41600	8.00290	7.97100	8.28840	8.03902	7.88633
A ₂₃ -A ₃₀	7.76820	8.05330	7.98260	8.16000	7.91350	7.89280	8.21410	7.93058	8.05561
A ₃₁ -A ₃₄	0.64500	0.64500	0.64500	0.64500	0.64510	0.64500	0.66580	0.64502	0.64500
A ₃₅ -A ₃₆	0.64500	0.64500	0.64500	0.64500	0.64510	0.64510	0.67430	0.64500	0.64500
A ₃₇ -A ₄₀	12.8748	12.8569	12.8175	13.0780	12.7626	12.5404	12.1500	12.70402	12.96987
A ₄₁ -A ₄₈	8.08550	8.04250	8.11290	8.04300	7.96570	7.96390	7.87000	7.96843	7.991384
A ₄₉ -A ₅₂	0.64500	0.64510	0.64500	0.64500	0.64520	0.64590	0.70580	0.64505	0.64500
A ₅₃ -A ₅₄	0.64500	0.64500	0.64500	0.64500	0.64500	0.64620	0.65260	0.64500	0.64500
A ₅₅ -A ₅₈	17.0410	17.2136	17.3362	16.9430	16.9041	17.1323	17.0882	17.01693	16.83402
A ₅₉ -A ₆₆	8.00030	8.08040	8.10100	8.14300	8.04340	8.02160	7.94720	8.01267	8.185437
A ₆₇ -A ₇₀	0.64500	0.64500	0.64500	0.64700	0.64510	0.64500	0.64500	0.64500	0.64500
A ₇₁ -A ₇₂	0.64950	0.64500	0.64500	0.65300	0.64730	0.64510	0.74620	0.64500	0.64500

Optimum ağırlık (kg)	324.3754	327.5528	327.649	328.490	324.2467	324.2376	325.1956	324.2337	324.9658 [327.649] ¹ [328.490] ²
Ortalama ağırlık (kg)	325.74940	327.67970	327.67000	330.91	324.3219	324.41090	NA*	325.41860	325.1190
Standart sapma (kg)	0.91860	0.06750	0.01800	1.8400	0.05160	0.24200	NA*	0.89850	0.1056
Sınırlayıcı ihlal yüzdesi (%)	0.16500	0.58000	0.58750	0.66250	0.16830	0.17000	0.15830	0.16330	0.00000
Yapı analiz sayısı	4000	15000	6860	12800	11116	8860	12000	8820	13280

¹JA ile VPS'ye [7] ait ağırlık (327.649 kg) 3399 yapı analizde bulunmuştur.

²JA ile CPA'ya [8] ait ağırlık (328.490 kg) 2961 yapı analizde bulunmuştur.

*NA: Mevcut değil.

Tablo 6. 72 elemanlı uzay kafes yapıda optimum tasarımlara ait doğal frekans değerleri

Frekans No (Hz)	MS-TLBO [5]	SBO [6]	VPS [7]	CPA [8]	ReDE [9]	AHEFA [10]	EACCS [11]	HSPO [12]	JA
1	4.0011	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
1*	4.0015	4.0232	4.0235	4.0265	4.0004	4.0004	4.0005	4.0002	4.0000
2	4.0011	4.0000	4.0002	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	NA	4.0000
2*	4.0015	4.0232	4.0235	4.0265	4.0004	4.0004	4.0005	4.0002	4.0000
3	6.0003	6.0000	6.0000	6.0000	6.0001	6.0000	6.0007	6.0000	6.0001
3*	5.9901	6.0238	6.0251	6.0299	5.9899	5.9898	5.9905	5.9902	6.0001

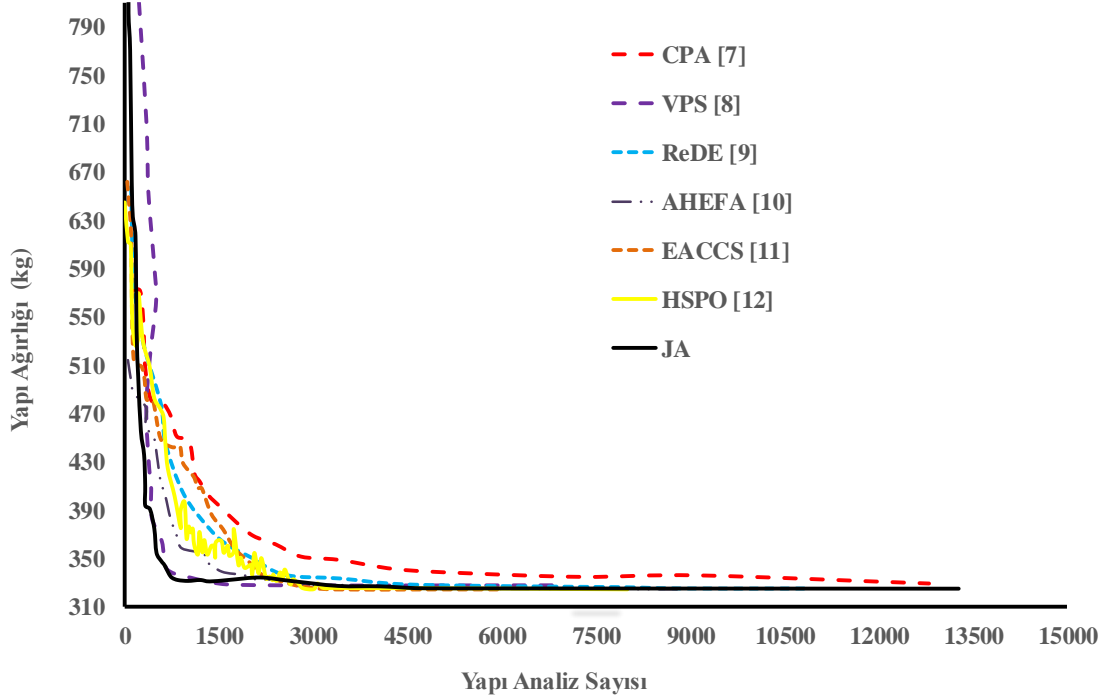
*SAP 2000 v20'den [18] elde edilen doğal frekans değerleri

Tablo 5'de görüldüğü üzere, diğer yöntemler doğal frekans sınırlayıcılarını %0.1633-%0.6625 arasında değişen oranlarda ihlal etmelerine karşın JA ile bulunan optimum tasarım, sınırlayıcıları tam olarak sağlamaktadır. Dolayısıyla, JA ile diğer tüm yöntemlerden daha iyi bir tasarım elde edilmiştir.

Ayrıca Tablo 6'da sunulduğu üzere, JA ile elde edilen doğal frekans değerlerinin SAP 2000 v20 [18] ile bulunan doğal frekans değerleriyle eşit olması MATLAB programlama dilinde yapılan kodlamanın doğruluğunu ispatlamaktadır.

Tablo 5'deki JA için verilen 0.1056 kg 'lık standart sapma değerinin ortalama ağırlığın %0.033 mertebesinde olması JA'nın farklı başlangıç popülasyonları için birbirine oldukça yakın sonuçları elde edebildiğini kanıtlamaktadır.

72 elemanlı uzay kafeste yapı ağırlığı ile yapı analiz sayısının optimizasyon işlemi süresince değişimi Şekil 4'deki gibidir. JA, sadece 2661 yapı analizi sonunda 331.2597 kg gibi optimum tasarıma oldukça yakın bir tasarım bulmuştur. Bu sonuç, JA'nın çok hızlı bir şekilde optimum tasarıma yakın tasarımlar bulabildiğini göstermektedir.



Şekil 4. 72 elemanlı uzay kafeste yapı ağırlığı ile yapı analiz sayısının değişimi

Sonuçlar

Literatürdeki sonuçlarla yapılan kıyaslamalar JA'nın diğer tüm yöntemlerden daha iyi (yapılabilir) kafes yapılar elde ettiğini göstermektedir. Literatürdeki diğer yöntemlerden elde edilen optimum tasarımlar doğal frekans sınırlayıcılarını %0.1633-%1.007 arasında değişen oranlarda ihlal ederken, JA ile bulunan optimum tasarımlar sınırlayıcıları tam olarak sağlamaktadır. Ayrıca JA optimum tasarıma yakın tasarımlara çok hızlı bir şekilde ulaşabilmektedir. Yöntemin farklı icraları sonucunda bulunan tasarımlar için hesaplanan standart sapma değerlerinin ortalama ağırlığa göre oldukça küçük olması JA'nın farklı başlangıç popülasyonları üretmesine rağmen, optimizasyon işleminin sonunda birbirine çok yakın tasarımlar elde edebilme kabiliyetinin olduğunu ispatlamaktadır.

Teşekkür

Bu araştırma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje Numarası: Mühendislik.18.002, 2018.

Kaynaklar

- [1] J.H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor The University of Michigan Press, 1975.
- [2] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Coloni, "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents", *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. B*, 29–41, (1996).
- [3] R.C. Eberhart, J. Kennedy, A new optimizer using particle swarm theory: *Proceedings of The Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, 1942-1948, (1995).
- [4] R.V. Rao, V.J. Savsani, D.P. Vakharia, "Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical

- design optimization problems”, *Computer-Aided Design*, vol. 43, no 3, pp. 303–315, 2011.
- [5] G.G. Tejani, V.J. Savsani, V.K. Patel, “Modified sub-population teaching-learning-based optimization for design of truss structures with natural frequency constraints” *Mech. Based Des. Struc.*, vol. 44, no 4, pp. 495-513, 2016.
- [6] M. Farshchin, C.V. Camp, M. Maniat, “Optimal design of truss structures for size and shape with frequency constraints using a collaborative optimization strategy”, *Expert Syst. Appl.*, vol. 66, pp. 203–18, 2016.
- [7] A. Kaveh, A. Zolghadr, “Cyclical parthenogenesis algorithm for layout optimization of truss structures with frequency constraints”, *Eng. Optimiz.*, vol. 49, no 8, pp. 1317-1334, 2017.
- [8] A. Kaveh, M.I. Ghazaan, “Vibrating Particles System Algorithm for Truss Optimization with Multiple Natural Frequency Constraints”, *Acta Mech.*, vol. 228, no 1, pp. 307–322, 2017.
- [9] V. Ho-Huu, T. Nguyen-Thoi, T. Truong-Khac, L. Le-Anh, T. Vo-Duy, “An improved differential evolution based on roulette wheel selection for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints”, *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 1, pp.167–185, 2018.
- [10] Q.X. Lieu, D.T.T. Do, J. Lee, “An adaptive hybrid evolutionary firefly algorithm for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints”, *Comput. Struct.*, vol 195, pp. 99-112, 2018.
- [11] A. Kaveh, M. Kooshkbaghi, “Enhanced artificial coronary circulation system algorithm for truss optimization with multiple natural frequency constraints”, *Period Polytech-Civ.*, vol. 63, no 2, pp. 362-376, 2019.
- [12] A. Kaveh, S. Mahjoubi, “Hypotrochoid spiral optimization approach for sizing and layout optimization of truss structures with multiple frequency constraints”, *Eng. Comput.*, vol. 35, pp. 1443-1462, 2019.
- [13] R.V. Rao, “Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems”, *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 7, pp. 19-34, 2016.
- [14] R.V. Rao, K.C. More, J. Taler, P. Oclon, “Dimensional optimization of a micro-channel heat sink using Jaya algorithm”, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 103, pp. 572-582, 2016.
- [15] S.P. Singh, T. Prakash, V.P. Singh, M.G. Babu, “Analytic hierarchy process based automatic generation control of multi-area interconnected power system using Jaya algorithm”, *Eng. Appl. Artif. Intel.*, vol. 60, pp. 35-44, 2017.
- [16] S.O. Degertekin, L. Lamberti, I.B. Ugur, “Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using the Jaya algorithm”, *Appl. Soft. Comput.*, vol. 70, pp. 903-928, 2018.
- [17] S.O. Degertekin, L. Lamberti, I.B. Ugur, “Discrete sizing/layout/topology optimization of truss structures with an advanced Jaya algorithm”, *Appl. Soft. Comput.*, vol. 79, pp. 363-390, 2019.
- [18] SAP 2000 v20. Integrated Software for Structural Analysis and Design. Computers & Structures, Inc. Walnut Creek (CA), USA. 2018.

Hareketli Tabanlı Akarsularda Yan Savak Civarındaki Oyulma Derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama İle Belirlenmesi

Determination Of Scour Depth Around Side Weir In Live Bed River With Genetic Expression Programming

Hayrettin Kaya¹, Fevzi Önen^{2*}

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, h-kaya@dsi.gov.tr, ORCID:0000-0002-9320-1236

² Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, fonen@dicle.edu.tr, ORCID:0000-0002-2368-1035

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 19 Nisan 2020
Düzeltilme: 15 Mayıs 2020
Kabul: 19 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:

Hareketli Tabanlı, Oyulma, Yan savak, GEP

ÖZET

Yan savaklar su yüksekliğinin kontrol altında tutulması, sistemdeki atık suyun deşarj edilmesi ve debi ölçümü gibi amaçlar için kullanılan ve de genel olarak akarsular üzerine inşa edilen hidrolik yapılardır. Hareketli tabanlı akarsularda en sık karşılaşılan hidrolik problemlerin başında oyulma problemi gelmektedir. Hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma olayını araştıran çalışmalar literatürde mevcut olup; bu çalışmalarda yöntemler genellikle fiziki model üzerindeki deneysel çalışmalar olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Modelimizde hareketli tabanlı doğrusal kanalda elde edilen temiz su oyulması ve hareketli tabanlı oyulması deneysel verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada modeller oluşturulurken bağımsız boyutsuz değişkenler; rölatif akım hızı (V/V_k), boyutsuz yan savak uzunluğu (L/b), rölatif yan savak kret yüksekliği ($(h_1-p)/h_1$) ve taban malzemesi dane çapı (d_{50}/p) girişi verisi olarak çıkış verisi rölatif denge oyulma derinliği (H_d/p) ise çıkış verisi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda matematiksel modellemede hesaplanan değerler ile fiziki modelde ölçülen değerler karşılaştırılarak, modelin iyi bir performans gösterdiği belirlenmiş ve hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama kullanılarak belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.723092

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 April 2020
Revised: 15 May 2020
Accepted: 19 May 2020

Keywords:

Live bed, Scour, Side weir, GEP

ABSTRACT

Side weirs are hydraulic structures used for purposes such as controlling water height, discharging of waste water in the system and flow measurement and generally built on rivers. The most common hydraulic problems in live-bed streams are the problem of scouring. Local scour may cause damage and destruction of the bridge piers, side weirs or water dams. The data obtained in laboratory conditions or in the model environment can be used to understand the hydraulic factors of the local scour. Studies investigating the scour around side weir on the live-bed river are available in the literature. However, the methods in these studies are generally considered as experimental studies on the physical model. In the literature, the number of studies researching the scour depth on the mathematical model is limited. In this study, unattached non-dimensioned variables are formed while creating models; relative flow velocity (V/V_c), dimensionless side weir length (L/b), relative side weir crest height ($(h_1-p)/h_1$) and bed material grain diameter (d_{50}/p) using output data relative equilibrium scour depth (H_d/p). As a result of the study, the values calculated in the mathematical modeling and the values measured in the physical model were determined to show a good performance and the scour depths around the side weir could be determined by using Gene Expression Programming in the live-bed rivers.

* Sorumlu yazar / Correspondence

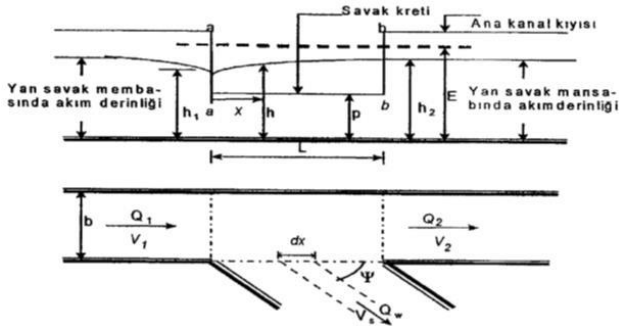
Fevzi Önen

✉ fonen@dicle.edu.tr

Giriş

Yan savaklar, bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin alınması için kullanılan yapılardır. Sulama, hidroelektrik ve diğer hidrolik yapıların su temini amaçlı tesislerinin iletim kanalları, ihtiyaç ve ekonomi göz önüne alınarak optimum kapasiteye göre projelendirilir. Kanala giren fazla suyun taşarak çevreye zarar vermemesi için gerekli yerlere yan savaklar inşa edilmektedir. Yan savaklar kanalın sadece bir tarafına ya da her iki tarafına, çökeltim havuzları gibi yapıların yan tarafına yapıldıkları için yan savak olarak adlandırılır [1].

Mühendislik uygulamalarında yan savaklar sıkça başvurulan çözüm yollarından bir tanesidir. Yan savaklar genellikle sulama sistemlerinde, kanalizasyon şebekelerinde ve taşkın koruma yapılarında, barajlar ve hidroelektrik santrallerinde kullanılan yapılardır. Yan savaklar kullanılarak, sistemdeki atık suyun uzaklaştırılması ve su kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Yan savak akımının planı ve kesiti [2]

Figure 1. Plan and section of the side weir flow

Şekil 1’de Yan savak akımının planı ve kesiti verilmiştir. h_1 , yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), h_2 yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), h herhangi bir kesitteki su derinliğini (m), Q_1 ana kanaldaki debiyi (m^3/s), Q_2 yan savaktan sonraki ana kanal debisini (m^3/s), Q_w yansavaktan savaklanan debiyi (m^3/s), V_1 yan

savak membasında ortalama akım hızını (m/s), V_2 yan savak mansabında ortalama akım hızını (m/s), V_s yan savaktan savaklanan akım hızını (m/s), b ana kanal genişliğini (m), L yan savak uzunluğunu (m), Ψ savaklanma (sapma) açısını, p yan savak kret yüksekliğini (m), x yan savağın herhangi bir noktasının yan savak başlangıcına olan mesafesini göstermektedir.

Hareketli tabanlı kanallarda bulunan yan savakların kanal taban profiline ve ana kanaldaki akım özelliklerine önemli etkisi mevcuttur. Gerek yanal akım ve gerekse kanalda bulunan engel ve eğrilikler tarafından yaratılan sekonder akım, ana kanaldaki taban profilinde ve hidrolik karakteristiklerinde çok önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

Akım şiddeti yükseldiği zaman membadaki kayma gerilmesi taban malzemesinin karşı koyacağı kritik kayma gerilme değerini aştığında membadan itibaren akım yönünde katı madde hareketi başlar. Bu hareket türbülans etkisiyle oluşan oyulma çukurundaki akımla birleşerek hareketli taban oyulmasını oluşturmaktadır.

Literatürde hareketli tabanlı akarsularda yan savaklarda meydana gelen oyulma derinliği ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmamaktadır. Ülkemiz gibi akarsu sayısının bir hayli fazla olduğu bir coğrafyada hareketli taban üzerinde bulunan yan savakta meydana gelecek oyulma ile ilgili araştırmalar önem arz etmektedir.

Önen [1], çalışmasında hareketli tabanlı kanal boyunca dikdörtgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklar için nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda fiziki model üzerinde seri deneyler gerçekleştirmiştir. Temiz su oyulması hali ($0,5 < V_1/V_{kr} < 1$) ve hareketli taban oyulması hali ($0,95-1,0 < V_1/V_{kr} < 2,5$) için rölatif denge oyulma derinliği incelenmiştir.

Emiroğlu ve ark. [3], $\theta=90^\circ$ ’lik kıvrımlı kanalda nehir rejimi şartlarında ve kohezyonsuz zeminde oyulma derinliği ile ilgili deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada $V_1/V_{kr} < 1$ için temiz su oyulması durumunda kanal tabanında bulunan

kohezyonsuz zeminde taban dalgalanmasının oluşmadığını gözlemlemişler. Savaklanma miktarının artmayla sekonder akımın şiddetinin arttığını ve bununla beraber oyulma derinliği miktarının artarak yan savak çıkışında oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Onen ve Agaccioğlu [4], Alüvyon tabanlı bir kanalda yan savak civarında temiz su oyulması derinliğini belirlemeye yönelik deneysel çalışmaları dikdörtgen kanalda yapmışlardır. Alüvyon tabanlı kanaldaki oyulma derinliğinin akış hızına, yan savak uzunluğuna, hidrolik su seviyesine ve katı madde dane çapına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Temiz su oyulması derinliğinin zamanla arttığı ve yaklaşma akış hızına bağlı olarak denge durumuna asimptotik olarak yaklaştığı tespit edilmiştir.

Dilek [5], kohezyonlu malzeme tabanlı doğrusal bir kanalda, dikdörtgen kesitli bir yan savak civarındaki oyulma derinliğini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma süresince doğrusal bir kanala yerleştirilen, dikdörtgen kesitli yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin tespiti için yaklaşık 30 deney yapılmıştır. Boyut analizi sonucunda, rölatif denge oyulma derinliği H_{de}/h_1 'nin; $1/F_r^2$, L/b , C , Wc ve τ_s 'e bağlı olduğu bulunmuştur.

Önen [6], genetik algoritmalara (GA) ve genetik programlamaya dayalı bir algoritma olan Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemini kullanarak kıvrımlı kanal boyunca yan savak civarındaki temiz su oyulmasını tahmin etmek için yeni bir formülasyon geliştirmiştir. Çalışmada, geliştirilen GEP modellerinin açık formülasyonları sunulmuş ve ayrıca çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve çoklu doğrusal olmayan regresyon (MNRL) modelleri de kullanılarak denklemler de elde edilmiştir.

Varol [7], çalışmasında yan savak oyulmasını kohezyonlu zeminlerde deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada kumlu-killi tabanlı bir dikdörtgen enkesitli kanal boyunca, nehir rejimi akım şartlarında ($Fr=0.33-0.81$), $L=25, 40$ ve 50 cm uzunluklu, taban malzemesinden itibaren $p=7, 12$ ve 17 cm kret yükseklikli dikdörtgen yan savak etrafında ana kanal tabanında

meydana gelen oyulma ve rölatif denge oyulma derinlikleri incelenmiştir.

Emiroğlu ve ark. [8], trapez biçimli labirent bir yan savakta kullanılacak olan antivorteks yapının debi kapasitesi ve temiz su oyulması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Froude Sayısı (F_1), boyutsuz kret yüksekliği (p/y_1), boyutsuz açık savak uzunluğu (L/b), boyutsuz efektif kret uzunluğu (L/L_{ef}) ve yan duvar açısı (α)'nın değişken değerleri kullanılmıştır. Çalışma boyunca çoklu ve sıralı deneyler yapılarak antivorteks yapının tipinin ve konumunun debi kapasitesi ve oyulma üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimum değerler saptanmıştır.

Tunç ve ark. [9], dikdörtgen enkesitli alüvyon tabanlı bir kanalda kararlı akım şartları ve serbest savaklanma durumu için üçgen labirent yan savak civarındaki yerel oyulma derinliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada Üçgen labirent yan savak etrafında oluşan maksimum oyulma derinliklerini belirlemek için farklı koşullarda bir dizi deney gerçekleştirilmiş; deneylerde savağın membasında ve mansabında farklı boyutlarda oyulma derinlikleri gözlemlenmiş ve maksimum oyulma derinliğinin, çoğunlukla üçgen labirent yan savağın mansap ucunda oluştuğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada hareketli tabanlı kanallarda yan savak civarında oluşan oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama model ile incelenecektir. Ayrıca fiziki modelde ölçülen oyulma derinlikleri ile model sonuçları karşılaştırılıp oluşturulan matematiksel modellerin doğruluğu ortaya konulacaktır.

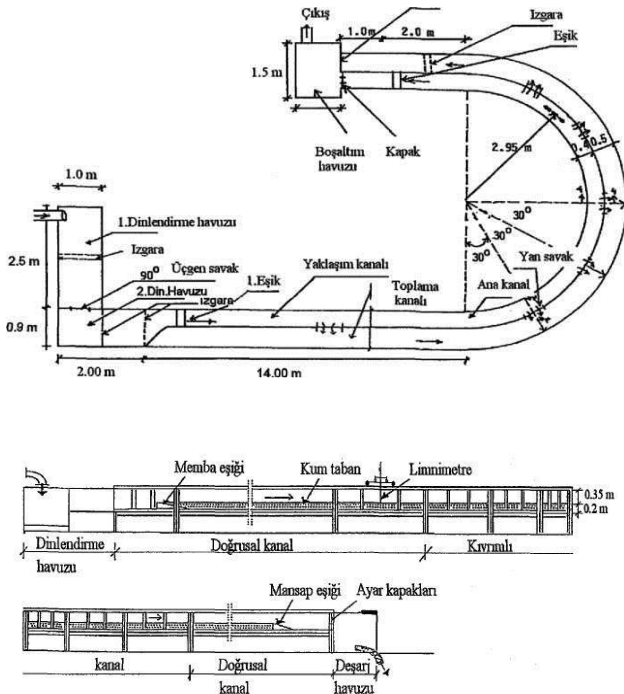
Materyal ve metot

Bu çalışmada hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modelleme gerçek ya da fiziki olan bir durumun ya da sürecin matematik diline aktarılma ve matematiksel olarak ifade edilmesidir. Önen [1] tarafından yapılan doktora tez çalışmasındaki

deneysel veriler kullanılarak modellemeler yapılmıştır.

Deney kanalı ve deneysel çalışma

Önen [1] tarafından yapılan deneysel çalışmalar Y.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Hidrolik Laboratuvarında mevcut dikdörtgen en kesitli 180 derecelik kıvrımlı kanalda gerçekleştirilmiştir. Mevcut kanal toplam 0,90 m genişliğinde ve 0,60 m yüksekliğinde alüminyum tabanlıdır. Deney kanalının planı ve boyuna kesiti Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney kanalının planı ve boyuna kesiti [1]

Figure 2. Plan and longitudinal section of the test channel

Mevcut kanal, ana kanal genişliği net 0,4 m ve toplama (sağanak) kanalı genişliği 0,5 m olacak şekilde birbirine paralel iki kanaldan oluşmaktadır.

Deney kanalı birbirine seri olarak bağlanmış yedi bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; Yaklaşım Kanalı, Kıvrımlı Kanal, Doğrusal

Çıkış Kanalı, Yan Savak Ayırma Duvarı, Toplama (Sağanak) Kanalı, Boşaltım Havuzu, Hareketli Seviye Ölçüm Arabasıdır. Çalışma, 14 m’lik doğrusal yaklaşım kanalı, 180°’lik 2.95 m eksen eğrilik yarıçapına sahip 90 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra 3 m’lik doğrusal mansap kanalında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, doğrusal kanalda $L=25, 40$ ve 50 cm uzunluklu ve kum tabandan itibaren $p=7, 12$ ve 17 cm kret yükseklikli yan savaklar için yapılmıştır. Ana kanalın memba ve mansap uçlarına 20 cm yüksekliğinde iki eşik yerleştirilmiş ve aralarına 20 cm yüksekliğinde, $d_{50}=1,15$ mm ve $\sigma_g=1,74$ olan kuvars kumu serilmiştir. Kanalda akım hızları kanalın sonunda bulunan radyal kapaklarla ayarlanmıştır. Limnometre yardımıyla yan savak bölgesinde oluşan maksimum oyulma derinliği ölçülmüştür. Çalışmada denge oyulma süresi ile denge oyulma derinliği arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bu ilişkide deney süresinin denge oyulma süresinin %50’si olması halinde oyulma derinliğinin denge oyulma derinliğinin %90-95’ini geçtiği görülmüştür. Doğrusal kanalda temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması için toplam 250’ye yakın deney yapılmıştır [1].

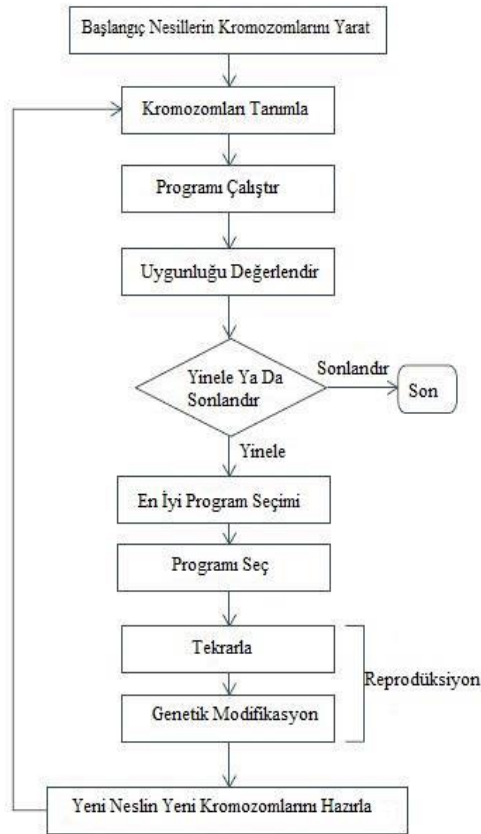
Genetik ifadeli programlama

Bilgisayar programlamada, genetik ifadeli programlama (GEP), bilgisayar programlarını veya matematiksel modelleri oluşturan evrimsel bir algoritmadır. Bu bilgisayar programları, yaşayan bir organizmaya benzeyen boyutlarını, şekillerini ve kompozisyonlarını değiştirerek öğrenen ve adapte olan karmaşık ağaçsal yapılardır. Ve canlı organizmalar gibi, GEP bilgisayar programları da sabit uzunlukta basit doğrusal kromozomlarda kodlanır. Dolayısıyla GEP, genetik bilgiyi tutmak ve iletmek için basit bir genomdan ve çevreyi keşfetmek ve ona uyum sağlamak için karmaşık bir fenotipten faydalanan bir genotip-fenotip sistemidir.

Genetik ifadeli programlama, lineer kromozomlar ve analiz ağaçlarını fenotip olarak işler, genotip-fenotip sistemi oluşturur. Bu

genotip-fenotip sistemi her bir kromozomdaki çoklu ayrıştırma ağaçlarını kodlar. Bu durum GEP tarafından oluşturulan bilgisayar programlarının çoklu ayrıştırma ağaçlarından oluştuğu anlamına gelir. Bu ayrıştırma ağaçları gen ifadesinin bir sonucu olduğundan, GEP'te bunlara ifade ağacı denir.

Genetik İfadeli Programlamanın temel aşamaları, Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir. İşlem, belirli sayıda kişinin kromozomlarının rastgele üretilmesiyle başlar. Daha sonra bu kromozomlar analiz edilir ve her bir bireyin uygunluğu, bir dizi uygunluk vakasına karşı değerlendirilir. Bireyler daha sonra o ortamdaki performanslarına göre seçilir. Bu yeni bireyler sırayla aynı gelişim sürecine tabi tutulur. İşlem, belirli sayıda nesiller için veya iyi bir çözüm bulunana kadar tekrar edilir.



Şekil 3. Genetik ifadeli algoritmanın akış şeması [10]

Figure 3. Flow chart of genetic expression algorithm

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada amaç; hareketli tabanlı bir akarsuda yan savak civarındaki oyulma derinliklerini etkileyen parametreleri belirlemek ve bu parametreler arasında var olan ilişkileri belirlemektir. Önen [1] tarafından yapılan fiziki model, GEP yöntemiyle matematiksel ortama aktarılmıştır. Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemiyle farklı modeller oluşturarak, bu parametrelerin oyulma derinliği miktarına etkisini ve daha önce oluşturulmuş olan fiziki modelle olan bağlantıları ortaya çıkarılmıştır.

Genetik İfadeli Programlama yöntemiyle hesaplanan değerlerin doğruluğu için regresyon analizi kullanılacaktır. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması için kullanılan istatistiksel bir modeldir [11]. Genetik İfadeli Programlama yaklaşımı ile hesaplanan rölatif denge oyulma derinliği (H_d/p), fiziki modelde laboratuvar ortamında ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve modellerin performansı için de belirleme Determinasyon Katsayısı (R^2) ve Ortalama Karesel Hata Kökü (RMSE) kullanılmıştır.

Regresyon modelinde hesaplanacak R^2 değeri her zaman 0 ve 1 arasında çıkar. Bağımlı değişkenler arasında mantıklı bir ilişki öne sürebilmek için yüksek bir R^2 değeri ve düşük RMSE değeri gereklidir. Bu durum bir modelin güvenilirliği ve tahmin amaçlı kullanılabilmesi için oldukça önemlidir [11].

Genetik ifadeli programlama modelinin oluşturulması

Genetik İfadeli Programlama uygulamasında, tüm uygunluk durumları için belirli bir hata payı içerisinde doğru sonuçları regresyon analizi ile veren bir formül oluşturulmalıdır. Bu formül için çok küçük mutlak aralıklar seçilirse akış oldukça yavaşlar ve sonuca ulaşmak zorlaşır. Öte yandan büyük aralıklar seçilirse

gerçeklikten uzak sonuçlarla karşı karşıya kalmak mümkündür [12].

Bu sorunu çözmek için akışı bozmadan sorunu çözmeyi sağlayan evrimsel strateji geliştirilmiştir. Bu sistem akışı bozmadan mümkün olan en küçük hata sınırları içinde çözümü bulmayı hedefler. Matematiksel olarak f_i formülü seçilen hata mutlak bir denklemle ifade edilir [11]:

$$f_i = \sum_{j=1}^{c_i} (M - |C_{(i,j)} - T_j|) \quad (1)$$

Bu çalışmada model oluşturulurken hata olarak mutlak hata kullanılacak, yani (1) fonksiyonu kullanılacaktır.

Ferreira [10], çalışmasında ise GEP Modelinin kullanımında ve hazırlanmasında beş önemli basamak olduğunu belirtmiştir. İlk basamak; GEP'e girilecek olan uygun formülün oluşturulmasıdır. Modelin oluşturulmasında ilk aşamada kullanılan fonksiyon;

$$H_d / p = \sum_{j=1}^{c_i} (M - |C_{(i,j)} - T_j|) \quad (2)$$

Burada, H_d/p : Rölatif denge oyulma derinliği; M: Seçim aralığı $C(i,j)$: Bireysel kromozomlar tarafından değiştirilen değer (i: uygun durumlar için, j: uygun olmayan durumlar için), T_j : En uygun durum için hedef değer. Eğer $|C(i,j) - T_j|$ (doğruluk) 0.01' den az ya da eşit ise, o zaman doğruluk sıfıra eşit olur ve $f_i = f_{max} = C_i M$. Bu durumda, $M=100$ alınır ve bu sebeple $f_{max}=1,000$ olur.

İkinci önemli basamak, kromozomları üretmek için T dizinimi ve f fonksiyonu seçilir. Bu problemde dizinimler bağımsız değişkenlerden $H_d/p=f(V/V_{kr}, L/b, (h_1-p)/h_1, d_{50}/p)$ oluşmaktadır. Uygun fonksiyon kümesinin seçiminde gerekli tüm fonksiyonları içerecek iyi bir tahmin yapılır. Bu durumda, dört temel matematiksel işlem (+, -, *, /) ve bazı temel matematiksel fonksiyonlar ($1/x, x^{1/2}, x^{1/3}, x^{1/4}, x^2, x^3$) kullanılmıştır.

Üçüncü basamakta; kromozomal yapı, yani baş kısmın uzunluğu ve gen sayısı belirlenmektedir. Bu kısımda, eğitim dizinimindeki ortalama karesel hata (RMSE) en uygun fonksiyon olarak alınmıştır. Dördüncü önemli basamak ise; bağlantı fonksiyonunun seçimidir (toplama, çıkarma, çarpma, bölme). Bu durumda, çoğaltma yöntemiyle ifade ağaçlarından bağlantı kurulur. Son olarak, beşinci önemli basamakta; genetik katılımcıların, varyasyon ve oranlarından kaynaklı seçimler yapılır. Tüm genetik kullanıcıların kombinasyonu (mutasyon, aktarma ve yeniden birleştirme) en uygun GEP Modelinin Parametreleri ile kullanılmıştır [12].

Bu çalışmada en iyi GEP modelini belirlemek için yapılan denemelerden sonra baş uzunluğu, $h=8$ ve kromozom başına 3 gen seçilmiştir. Bağlantı fonksiyonu olarak da çarpma kullanılmıştır. Son olarak tüm genetik operatörlerin birleşimi genetik operatörler kümesi olarak kullanılmıştır. GEP modelinin eğitim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Modellemede Kullanılan Değişkenler

Table 1. Variables Used in Modeling

P1	Fonksiyon Seti	+,-,x,/,√x,exp,x ² ,x ³ ,√x,1/x
P2	Gen Sayısı	3
P3	Başlık Sayısı	8
P4	Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma
P5	Jenerasyon Sayısı	Jenerasyon Sayısı Değişik
P6	Kromozomlar	30-45
P7	Mutasyon Oranı	0.044
P8	Ters Çevirme Oranı	0.1
P9	Tek Nokta Yeni Kombinasyon Oranı	0.3
P10	İki Nokta Yeni Kombinasyon Oranı	0.1
P11	Gen Yeniden Kombinasyon Oranı	0.1
P12	Gen Yer Değiştirme Oranı	0.1

GEP Yöntemi İle Oluşturulan Modeller

GEP yöntemi ile model oluşturma çalışmalarında; fiziki modelden ölçüm yoluyla elde edilen bağımsız dört değişken ($V/V_{kr}, L/b,$

$(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p) ve çıktı verisi H_d/p 'ye ait 235 farklı veri bulunmaktadır. Bu 235 adet verinin %80'i yani 188 veri Eğitim (training) seti olarak kullanılmış olup geriye kalan %20'lik 47 adet veri Doğrulama (test/validation) verisi olarak kullanılmıştır. Test verileri programın yaptığı hesaplamaların karşılaştırılması için kullanılacaktır. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlere ait deney aralıkları ve yan savağa ait boyut aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yan savak boyutları ve bağımsız değişkenlere ait deney aralıkları [13]

Table 2. Side weir dimensions and experimental ranges used in the study

p (cm)	L (cm)	h_1 (cm)	$(h_1-p)/h_1$	d_{50}/p	L/b	V_1 (m/s)	V_c (m/s)	V_1/V_c
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
7	25	12-20	0.45-0.66	0.0164	0.625	0.20-0.91	0.43-0.47	0.46-2.08
12	25	19-27	0.37-0.55	0.0096	0.625	0.22-0.84	0.46-0.49	0.47-1.85
17	25	27-33	0.38-0.49	0.0068	0.625	0.3-0.63	0.49-0.5	0.60-1.31
7	40	14-20	0.50-0.63	0.0164	1.0	0.22-0.99	0.44-0.47	0.50-2.25
12	40	19-27	0.38-0.56	0.0096	1.0	0.23-0.98	0.46-0.49	0.50-2.16
17	40	24-29	0.30-0.40	0.0068	1.0	0.26-0.79	0.48-0.50	0.55-1.67
7	50	12-18	0.44-0.60	0.0164	1.25	0.21-1.00	0.43-0.46	0.49-2.32
12	50	17-24	0.30-0.50	0.0096	1.25	0.21-0.95	0.46-0.48	0.50-2.13
17	50	24-28	0.30-0.40	0.0068	1.25	0.27-0.81	0.48-0.49	0.58-1.72

Model çalışmalarında 4 değişkenli, 3 değişkenli ve 2 değişkenli varyasyonlar oluşturularak sonuçlar gözlenmiştir. İlk oluşturulan model olan Model-1'de tüm değişkenler V/V_{kr} , L/b , $(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p hesaplamalara ilave edilmiştir. Model-2'de V/V_{kr} , $(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p , Model-3'te L/b , $(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p , Model-4'te V/V_{kr} , L/b , d_{50}/p , Model-5'te V/V_{kr} , L/b , $(h_1-p)/h_1$ değişkenleri olmak üzere 3 değişkenli hesaplama yapılmıştır. Model-6'da V/V_{kr} , $(h_1-p)/h_1$, Model-7'de $(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p ve Model-8'de L/b , $(h_1-p)/h_1$ olmak üzere 2 değişkenli hesaplamalar yapılmıştır. Toplam oluşturulan

model sayısı 8 olmak üzere Model-1 için ifade ağacı (ET)'nin şekilsel gösterimi, GEP formülleri, fiziki modelde elde edilen değerler ve matematiksel model değerlerin karşılaştırılmasını gösteren grafikler verilmiştir. Diğer modeller Model-2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 için ise Eğitim (eğitim) ve Doğrulama (test/validation) hesaplamalarına ait R^2 ve RMSE değerleri tablo şeklinde verilmiştir.

Model-1

Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile Model-1 için ifade ağacı (ET) elde edilmiştir. Bu ifade ağacından yola çıkılarak GEP formülü elde edilmiştir. Elde edilen GEP formülü şu şekildedir.

$$y = (((((d[2]+d[1])+d[0])+d[2])*((d[2]+d[1])*(d[2]d[3])))*(((d[0]*d[0])*(G2C7*d[3]))*pow((d[2]*d[1],3))+d[2]),*((sqrt((d[3]*G3C3))+pow(d[2],3))-((d[3]*d[3])-(d[1]*d[3])))); \quad (3)$$

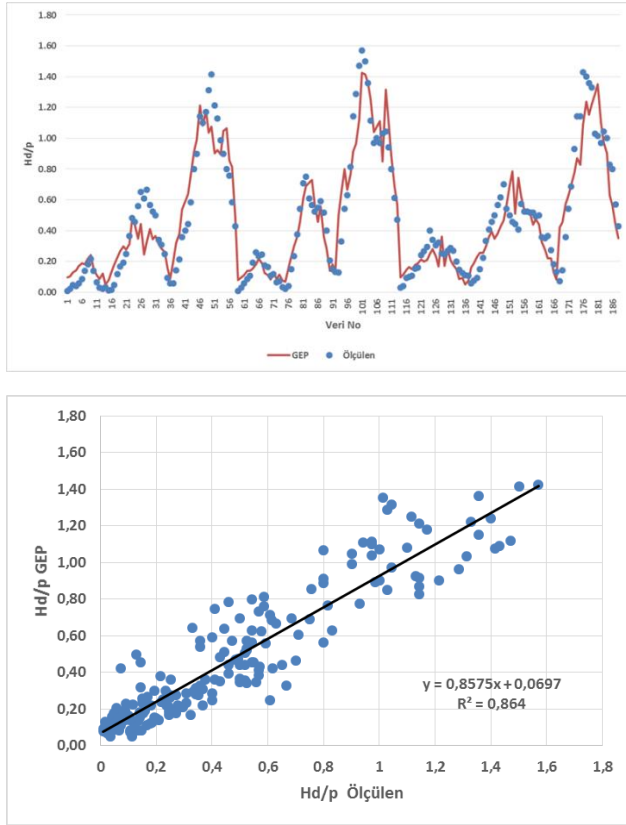
formülde bulunan sabitlerin değeri $G2C7=15.06$ ve $G3C3=10.63$ 'dir. Çıktı verimiz $y=H_d/p$ olmak üzere $d[0]=V/V_{kr}$, $d[1]=L/b$, $d[2]=(h_1-p)/h_1$ ve $d[3]=d_{50}/p$ 'dir. Burada V/V_{kr} : Yan savağı memba ve mansabında bulunan ana kanaldaki ortalama hızın, tane hareketi yani oyulma başlama anındaki kritik hıza oranı(Rölatif akım hızı), L/b : Boyutsuz yan savak uzunluğu, $(h_1-p)/h_1$: rölatif yan savak kret yüksekliği, d_{50}/p : Taban malzemesi dane çapı, çıkış verisi olarak elde edilen H_d/p ise rölatif denge oyulma derinliğini verir. İlgili sabitler, değişkenler ve çıktı verisi formülde yerine bırakıldıktan sonra:

$$H_d/p = ((V/V_{kr} + L/b + 2(h_1 - p)/h_1) * (L/b + (h_1 - p)/h_1) * ((h_1 - p)/h_1 - d_{50}/p)) * ((V/V_{kr})^2 * (d_{50}/p * -15.06) * (((h_1 - p)/h_1 * L/b)^3) + (h_1 - p)/h_1) * ((\sqrt{d_{50}/p * 10.63} + ((h_1 - p)/h_1)^3) - ((d_{50}/p)^3 - (L/b * (d_{50}/p)))) \quad (4)$$

şeklinde elde edilir.

Model-1'de yapılan hesaplamalar sonucunda Eğitim (training) verilerine ait $R^2=0.864$ ve $RMSE=0.145$ olarak, Doğrulama (test/validation) verilerine ait $R^2=0.858$ ve $RMSE=0.153$ olarak bulunmuştur.

Eğitim verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerin karşılaştırılması Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

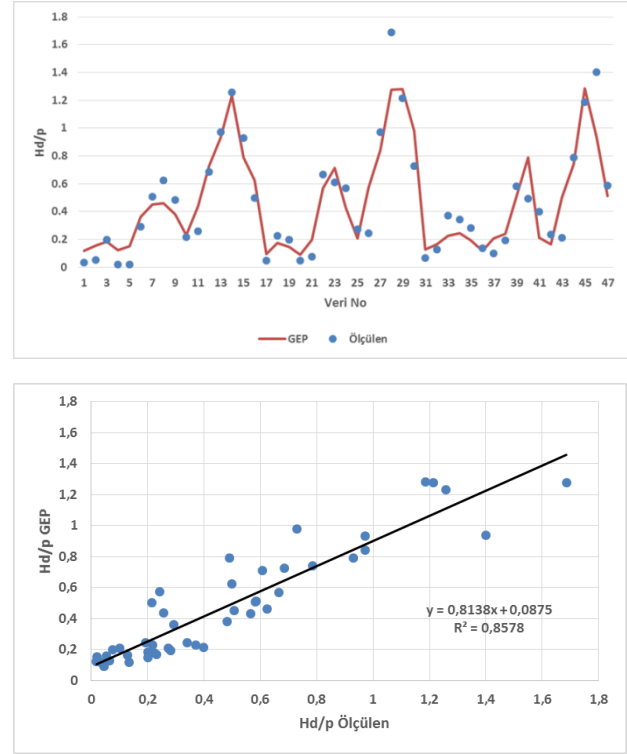


Şekil 4. Model-1'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerin karşılaştırılması

Figure 4. Comparison of GEP model values and values measured in the physical model in the training data of Model-1

Test verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle

karşılaştırılması Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Model-1'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerin karşılaştırılması

Figure 5. Comparison of GEP model values and values measured in the physical model in the test data of Model-1

Model-1'e ait yukarıdaki grafikler, R^2 ve $RMSE$ değerleri incelendiğinde modelin güvenilir olduğu ve iyi bir performans gösterdiği açıkça görülmektedir.

Şekil 4'de görüldüğü gibi GEP modeline ait değerler ile fiziki modelde ölçülen gerçek değerlerin grafiklerinin benzerlik gösterdiği görülmüş ve grafikler arasında ciddi bir sapma görülmemiştir. Şekil 5'de test verilerine ait grafiklerin eğitim veri grafikleri ile benzerlik

gösterdiği görülmektedir. Bu durum da modelin düzgün çalıştığını göstermektedir.

Regresyon analizi yönteminde kullanılan determinasyon katsayısı yani R^2 ; 0 ile 1 arasında bir sonuç vermektedir. R^2 'nin 0.8'den büyük çıkması modelin güvenilir bir model olduğunu gösterirken, R^2 1'e yaklaştıkça modelin doğruluğu artar. RMSE değeri ise Ortalama Karesel Hataların Kökü olarak ifade edilebilir. RMSE değeri GEP modelinde elde edilen değerlerle fiziki modelde ölçülen değerlerin ortalama farkını ortaya koyar. RMSE değerinin düşük çıkması modelin doğruluğu hakkında fikir verir. Model-1'de yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait $R^2=0.864$ ve $RMSE=0.145$ olarak, test verilerine ait

$R^2=0.858$ ve $RMSE=0.153$ olarak bulunmuştur. Burada eğitim verilerine ait R^2 değerinin yüksek RMSE değerinin ise düşük çıkması modelin doğru çalıştığını gösterir. Test verilerine ait R^2 ve RMSE değerlerindeki kısmi farklılık model oluşturulurken kullanılan veri sayısından kaynaklanmakta olup test ve eğitim verilerinin yakın çıkması modelin iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Model-1'den sonra oluşturulan modellere ait ifade ağacı, GEP formülleri ve benzeşim grafikleri bu çalışma içinde yer almamakta olup tüm modellere ait eğitim ve test verilerine ait R^2 ve RMSE değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [15].

Tablo 3. GEP yöntemi ile oluşturulan modellere ait R^2 ve RMSE değerleri

Table 3. R^2 and RMSE values of models created by GEP method

Model No	Değişken Tipi	Training Veriler		Test Verileri		Değişken Sayısı
		R^2	RMSE	R^2	RMSE	
Model-1	$Hd/p=f(V/Vkr,L/b,(h1-p)/h1,d50/p)$	0.864	0.145	0.858	0.153	4
Model-2	$Hd/p=f(V/Vkr,(h1-p)/h1,d50/p)$	0.903	0.123	0.892	0.133	3
Model-3	$Hd/p=f(V/Vkr,L/b,(h1-p)/h1)$	0.890	0.130	0.883	0.138	
Model-4	$Hd/p=f(L/b,(h1-p)/h1,d50/p)$	0.845	0.155	0.830	0.167	
Model-5	$Hd/p=f(V/Vkr,L/b,d50/p)$	0.727	0.209	0.673	0.234	
Model-6	$Hd/p=f(V/Vkr,(h1-p)/h1)$	0.852	0.152	0.819	0.172	2
Model-7	$Hd/p=f(L/b,(h1-p)/h1)$	0.847	0.154	0.833	0.165	
Model-8	$Hd/p=f((h1-p)/h1,d50/p)$	0.765	0.191	0.740	0.205	

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı hidrolik yapıların tasarımında ve işletme aşamasında karşılaşılan ana problemlerden olan taban oyulmasının hareketli taban ve yan savak özelinde araştırılması, matematiksel olarak modellenmesi ve Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile hesaplanan modellerin kullanılabilirliği, doğruluğu ve performansının ortaya konmasıdır.

Bu çalışmada modeller oluşturulurken bağımsız boyutsuz değişkenler rölafif akım hızı (V/V_{kr}), yan savak uzunluğu (L/b), rölafif yan savak kret yüksekliği ($(h_1-p)/h_1$) ve taban malzemesi dane çapı (d_{50}/p) kullanılarak rölafif denge oyulma derinliği (H_d/p) elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda matematiksel modellemede hesaplanan değerler ile fiziki modelde ölçülen değerler karşılaştırılarak modelin iyi bir performans gösterdiği belirlenmiş ve hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin GEP kullanılarak belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Elde edilen R^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde genel olarak 3 ve 4 değişkenli modellerin iyi performans gösterdiği, 2 değişkenli modellerin ise daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. 4 değişkenli Model-1 de $R^2=0.864$ ve $RMSE=0.145$ ve 3 değişkenli Model-2 de ise $R^2=0.903$ ve $RMSE=0.123$ değerleri elde edilmiştir.

Model sonuçlarından $(h_1-p)/h_1$ ve V/V_{kr} 'in rölafif denge oyulma derinliğinin belirlenmesinde oldukça etkili olduğu d_{50}/p ve L/b değişkenlerinin ise daha az etkili olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Mühendislik 18.010 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Önen, F., (2005), Hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidrodinamiğinin incelenmesi. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 175.

- [2] [2] Agaccioglu, H., Onen, F., (2005), Clear-water scour at a side-weir intersection along the bend. *Irrigation and Drainage*, 54,5 553-569.
- [3] Emiroğlu, M. E., Kaya, N., Öztürk, M. (2007), Investigation of labyrinth side weir flow and scouring at the lateral intake region in a curved channel. *Engineering Science Research Grant Group*, TÜBİTAK Proje No: 104M394.
- [4] Onen, F., Agaccioglu, H., (2007), Scour at a side-weir intersection located on an alluvial river. *Hydrology Research*, 38(2): 165-176.
- [5] Dilek, Y., (2011), Kohezyonlu malzeme tabanlı akarsulara yerleştirilen yan savak etrafındaki oyulma derinliğinin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 87.
- [6] Onen, F., (2014), GEP prediction of scour around a side weir in curved channel, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(3): 161-170.
- [7] Varol, F.A., (2015), Yan savak akımlarının etkisindeki kohezyonlu taban malzemesinin oyulma probleminin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 233
- [8] Emiroğlu, M.E., Göğüs, M., Tunç, M., İslamoğlu, K., (2016), Effects of Antivortex Structures Installed on Trapezoidal Labyrinth Side Weirs on Discharge Capacity and Scouring. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(6), 04017006
- [9] Tunç, M., Emiroğlu, M. E., (2017), Investigation of live-bed scour at labyrinth side weirs. Fırat University *Turkish Journal of Science & Technology*, 13(1): 129-136.
- [10] Ferreira, C., (2006), Automatically Defined Functions in Gene Expression Programming. *Studies in Computational Intelligence*, 13: 21-56
- [11] Sykes, A.O., (1993), An Introduction to Regression Analysis. Coase-Sandor Working Paper Series in Law and Economics.
- [12] Ferreira, C., (2001), Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems. *Complex Systems*, 13(2): 87-129
- [13] Onen, F., (2014), Prediction of scour at a side-weir with GEP, ANN and regression models. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(8), 6031-6041.
- [14] Onen, F., Agaccioglu, H., (2013), Live bed scour at a side-weir intersection located on an alluvial channel. *Irrigation and Drainage*, 62(4), 488-500.
- [15] Kaya, H., (2019), Hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin genetik ifadeli programlama ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 79.

Tek Katlı Betonarme Bir Yapı Üzerinde Operasyonel Modal Analiz Uygulaması

Operational Modal Analysis Application on a Single Storey Reinforced Concrete Building

Dilek Okuyucu¹

¹ Erzurum Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, okuyucu@erzurum.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 4 Mayıs 2020
Düzeltilme: 31 Mayıs 2020
Kabul: 31 Mayıs 2020

Anahtar kelimeler:
Operasyonel modal analiz,
teorik modal analiz,
tahribatsız muayene,
ultrasonik test,
yapısal model kalibrasyonu

Doi: 10.24012/dumf.731668

ÖZET

Tahribatsız yöntemlerle malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça yaygın uygulaması olan çalışmalardır. Yapı dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar da tahribatsız yöntem uygulamaları içerisinde yer almaktadır. Bu yöntemlerden birisi olan operasyonel modal analiz uygulaması bu çalışmanın ana unsuru olarak sunulmaktadır. Çalışma kapsamında, statik ve mimari projesi olmayan tek katlı ve her iki plan doğrultusunda iki açıklıklı bir betonarme yapı ele alınmıştır. Öncelikle yapının rölevesi çıkarılmış, donatı tespit cihazı ile ana taşıyıcı elemanların donatı detayları belirlenmiş, ultrasonik test ve Schmidt çekici uygulamaları ile beton malzeme özellikleri yerinde tayin edilmiştir. İkinci aşamada yapının SAP2000 yazılımı kullanılarak yapısal analizde kullanılacak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve teorik modal analizi yapılmıştır. Üçüncü aşamada operasyonel modal analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda teorik modal analiz sonuçları dikkate alınarak; yapı üzerinde ivmeölçer sensör yerleşimi yapılmış ve ortam titreşimi kayıtları alınmıştır. Toplanan veri Artemis Modal Pro yazılımı kullanılarak işlenmiş ve yapının yerindeki mod şekilleri ve frekansları elde edilmiştir. Teorik ve deneysel mod şekillerinin uyduğu ancak; ilgili frekans değerlerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Sonlu elemanlar modeli üzerinde yapılan kalibrasyon çalışmaları neticesinde dolgu duvarların modelde ihmal edilmesi halinde deneysel olarak elde edilen modal davranış parametrelerinin hesaplanmasının mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 4 May 2020
Revised: 31 May 2020
Accepted: 31 May 2020

Keywords:

Operational modal analysis,
theoretical modal analysis,
nondestructive testing,
ultrasound testing,
structural model calibration

ABSTRACT

Determination of the mechanical properties of materials by non-destructive methods is quite common practice. The studies conducted in the field of determining the dynamic behavior parameters of the structures are also included in non-destructive methods. Operational modal analysis, a non-destructive method, is presented as main element of this study. A single storey reinforced concrete structure with the lack of static and architectural projects was studied. First of all, the structure was relieved, reinforcement details of load bearing elements were determined by reinforcement detection device, and the properties of the concrete material were determined in-situ by ultrasonic testing and Schmidt hammer applications. Secondly, finite element model was created by using SAP2000 software and theoretical modal analysis was performed. In the third stage, operational modal analysis was performed. Considering the results of theoretical modal analysis; accelerometer sensor instrumentation was made and ambient vibration recordings were taken. The collected data was processed by using Artemis Modal Pro software and in-situ mode shapes and frequencies were obtained. The theoretical and experimental mode shapes were defined to be similar; whereas the related frequency values were obtained to be different. As a result of the calibration studies on the finite element model, it was concluded that it was not possible to calculate the experimentally obtained modal behavior parameters if the fill walls were omitted in the finite element model.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Dilek OKUYUCU
✉ okuyucu@erzurum.edu.tr

Giriş

Mevcut betonarme yapıların durum tespiti ve performans analizi çalışmalarında tahribatsız muayene yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tahribatsız yöntemlerle beton malzeme mekanik özelliklerinin tespitinin yanı sıra; betonarme donatı detaylarının tayini de mümkündür. Silsilenin devamında; tahribatsız yöntemlerle yapıların dinamik davranış parametrelerinin yerinde tespiti, hatta yapısal hasar durumunun tayini de mümkün hale gelmiştir. Detayları takip eden bölümlerde sunulacak olan bu çalışma; hakkında hiçbir teknik bilgi (proje, çizim, hesaplama, vb.) bulunmayan tek katlı bir betonarme yapı üzerinde tamamen tahribatsız yöntemlerle gerçekleştirilmiş bir modal davranış inceleme çalışması hakkında bilgi sunmaktadır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tahribatsız yöntem kullanımına ilişkin ilk uygulama, incelenen yapıda kullanılan beton malzeme karakterizasyonu amacıyla yapılmıştır. Beton malzeme basınç dayanımının tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi söz konusu olduğunda, kuşkusuz, akla gelen ilk yöntem Schmidt çekici uygulamasıdır ki; bu çalışmada da kullanılan ilk yöntem olmuştur. Bu metotta kullanılan Schmidt çekici 1948 yılında geliştirilmiş olup, URL-1 [1]'de ifade edildiği şekilde, uygulama kolaylığı nedeniyle tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Bu yöntemde sertleştirilmiş çelikten yapılmış çekicinin beton yüzeyinde yaptığı darbe sonucunda oluşan geri sıçrama miktarı ölçülmekte ve teorik bir bağıntı olmamakla birlikte beton dayanımı ile geri sıçratma miktarı arasında ampirik bağıntılar kullanılarak beton basınç dayanımının tayini/tahmini yoluna gidilmektedir. Ulusal ve uluslararası literatürde Schmidt çekici yönteminin muhtelif uygulamalarına ilişkin sayısız çalışma bulunmakta; son yıllarda yöntemin farklı türde beton malzemeler üzerindeki başarısının araştırıldığı çalışmalara doğru yönelme olduğu görülmektedir. Kazemi vd. [2] çalışmalarında geri dönüşüm agregası kullanılarak imal edilen beton dayanımının tayininde Schmidt çekici yönteminin etkinliğini araştırırken; Müller vd. [3] çalışmalarında polipropilen lifle üretilmiş ve yüksek sıcaklığa

maruz bırakılmış beton dayanımının Schmidt çekici uygulaması ile tayinini incelemiştir.

Çalışmanın beton malzeme karakterizasyonu aşamasında kullanılan bir başka tahribatsız ama tartışmalı metot ise ultrases yöntemidir. Tekniğin temel yaklaşımı, beton malzeme içerisine gönderilen ses dalgalarının beton içerisinde yayılma hızı kullanılarak beton dayanımı, elastik modül, boşluk oranı, çatlak durumu, vb. parametrelerinin kestirimlerinin yapılmasıdır. Beton ortamı içerisinde yayılan ses dalgalarının yayılma hızı ile incelenen parametre arasında uygun korelasyon bağıntılarının kullanılması esastır. Ancak, ultrases dalgası yayılma hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkinin ifade edildiği tek bir korelasyon olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu hasarsız yöntem, çok sayıda nokta üzerinden okuma yapılabilmesi, zamandan tasarruf sağlanması ve taşıyıcı elemanlara zarar vermemesi açısından tercih edilmektedir. Yöntem kullanılarak gerçekleştirilen çok sayıda bilimsel çalışma bulunmakla birlikte; beton basınç dayanımının ultrases yöntemi ile tayini amacıyla gerçekleştirilen Whitehurst [4] çalışmasının bu alandaki ilk çalışmalardan birisi olduğunu ifade etmek mümkündür. Durmuş ve Yılmaz [5] ultrases yönteminin farklı bir parametre tayininde kullanımına örnek olarak sundukları çalışmalarında yapay puzolan katkılı betonlarda su emme derinliğinin tayini için ultrases yöntemi kullanımına ilişkin araştırma sonuçlarına yer verirken; Abdullah vd. [6] çalışmalarında beton elastik modülünün ultrases yöntemi ile tahmini alanında gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarını literatüre geçirmişlerdir. Ahn vd. [7] araştırması ise beton içerisindeki mikro çatlak dağılımının belirlenmesinde ultrases yöntemi kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini raporlayan bir çalışmadır.

Tahribatsız yöntem kullanılarak gerçekleştirilen bir başka uygulama ise mevcut betonarme yapı taşıyıcı elemanlarında donatı tespitinin yapılmasıdır. Ultrases yöntemi esas alarak imal edilen betonarme donatı konumlandırıcıları, betonarme yapılarda çelik donatı çubuklarının konumunu bulmak ve beton kaplama boyutlarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte; cam elyaf içerikli donatı, ardgerme ve öngerme halatları gibi özel donatıların doğru bir şekilde

tayini için ultrasonic sistemlerin kullanılmayacağı, bu çalışmalarda zemine nüfuz eden radar esaslı sistemlerin kullanılması gerektiği URL-2 [8] kaynağında ifade edilmektedir. Yöntem, mevcut betonarme yapıların durum tespiti çalışmalarında sıklıkla kullanılmakla birlikte; bilimsel literatürde konuya ilişkin çok sayıda çalışmaya ulaşmak mümkündür. Rathod vd. [9] çalışmalarında Kanada’da 1950 ve sonrasında 30 yıllık süre içerisinde inşa edilmiş çoğunluğu köprü türü olan yapılara ait betonarme döşemelerde donatı tayininde radar ve ultrases esaslı cihaz kullanımlarını karşılaştırmaları açısından dikkat çekici bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

Gelişen teknolojinin inşaat mühendisliği araştırmacılarına sunduğu teknik imkânlar; tahribatsız yöntemlerle mevcut yapılar için dinamik kimliklendirme çalışmaları yapılmasının önünü açtığı Brickner ve Ventura [10] kaynağında ifade edilmektedir. Burada esas olanın, yapıdan alınan titreşim kayıtları kullanarak mod şekli, frekans ve sönüm oranı gibi modal davranış parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi olduğu Yetkin [11] çalışmasında da belirtilmektedir. Elde edilen veri, yapısal analize esas model doğrulama (Link [12]), yapım kalitesi kontrolü (Altunışık vd. [13]), hasar tespiti (Polimeno vd. [14]), dinamik kimliklendirme (Şafak ve Çelebi [15]) vb. çalışmalarda değerlendirilebilmektedir.

Tüm yapılar gündelik aktivitelerin getirdiği titreşim ve çevresel etkiler nedeni ile sürekli olarak titreşirler. Bunlar insanların algılayamadığı, ancak hassas sensörlerin algılayabildiği tip titreşimlerdir. Bu titreşimlerin ölçüm hassasiyeti yüksek sensörlerle uygun bir yerleşim planı dâhilinde ve yeteri kadar uzun bir süre boyunca kaydedilmesi sonucunda elde edilen veri kullanarak, tüm yapının dinamik yükler altında karakteristik özelliklerini (*mod şekilleri, frekans, salınım periyodu, sönüm vb.*) belirleyen sonuçlar elde edilebileceği Zhu vd. [16] çalışmasında ifade edilmektedir. Yapıların bu şekilde dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar pek çok kaynakta olduğu gibi, Cantieni [17] tarafından da deneysel modal analiz olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemin esası, yapıya uygulanan bir etki

altında yapının göstermiş olduğu tepkilerin ölçülmesine dayanmaktadır. Ölçülen etki ve tepki sinyalleri arasında tanımlanan fonksiyon her bir yapı için karakteristik özellikte olan dinamik davranış parametrelerini içermektedir. Bayraktar vd. [18] çalışmasında, bu yöntemin makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanıldığı ifade edilmektedir.

Bir deneysel modal analiz metodu olan operasyonel modal analiz yönteminde, çevresel etkilerin yapıda oluşturduğu titreşimler ölçülür. Yapıların tepki ölçümlerinde herhangi bir titreştirici kullanılmaz. Bu yöntem, çevresel titreşim testi olarak da adlandırılır. Uygulamada, yapı için teorik modal analiz sonuçları esas alınarak belirlenen noktalardan ivme ölçümleri alınır ve muhtelif veri analiz yöntemleri kullanılarak yapı dinamik parametreleri elde edilir. Brickner vd. [19] çalışması ortam titreşimlerine yapı tarafından gösterilen tepkilerin frekans alanında çözümleme yöntemiyle irdelendiği araştırmalara örnektir.

Bu çalışma, yukarıda değinilen tahribatsız yöntemlerle betonarme malzeme karakterizasyonu ve mevcut betonarme bir yapının dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesine bir örnektir. Bu amaçla, mimari ve statik projesi olmayan tek katlı bir betonarme yapı ele alınmış; öncelikle rölevesi çıkarılmış, beton malzeme dayanımı tayini için Schmidt çekici ve ultrases yöntemleri uygulanmış, taşıyıcı elemanlarda donatı tespiti yapılmış ve saha çalışmasının son aşamasında yapı tek eksenli ivmeölçerler ile donatılarak titreşim kayıtları alınmıştır. İvme kayıtları analiz edilerek mod şekli, modal frekans ve sönüm oranları hesaplanmış ve yapısal analize esas model üzerinde elde edilen teorik modal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma neticesinde, yapının sonlu elemanlar modeli üzerinde deneysel modal analiz sonuçlarına yakın sonuçlar hesaplanabilmesi için model kalibrasyonu yapılması gerekmiş ve bu amaçla dolgu duvar etkilerinin yansıtıldığı yeni bir model oluşturulmuştur.

Materyal ve yöntem

Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde bir yapının incelenmesi gerektiğinden hareketle yapılan araştırmada; bir kamu kurumuna ait piknik alanı idari binası olarak kullanılan yapıya ulaşılmış ve çalışmanın öznesi olarak bu yapı seçilmiştir. Bu bölümde, incelenen yapı ve takip edilen yöntem hakkında detaylı bilgi sunulmaktadır.

İncelenen yapı hakkında bilgi

Araştırmaya konu olan tek katlı betonarme yapıya ait statik ve mimari projelere erişim mümkün olmamıştır. Bu nedenle yapının rölevesi alınmış ve taşıyıcı sistemi yerinde inceleme sonucunda belirlenmiştir. Yapı 7.85x7.50 m plan ölçülerine sahip olup kat yüksekliği 3 m olarak ölçülmüştür. Yapı, her iki plan doğrultusunda iki açıklıklı betonarme çerçeve sistem olarak inşa edilmiş ve çerçeve açıklıklarında boşluklu tuğla dolgu duvarlar kullanılmıştır. Yapı ön cephe görünümü Şekil 1’de; mimari ve taşıyıcı sisteme ait çizimler ise Şekil 2’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Yapı ön cephe görünümü
Figure 1. Front side view of the building



Şekil 2. Yapıya ait plan çizimleri
Figure 2. Plan drawings of the building

Yöntem

Çalışmanın başlangıcında yetkili idareden yasal izinler alınmış, sonrasında saha çalışması aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda takip edilen yöntemi aşağıdaki sıralama ile sunmak mümkündür.

1. Yapının yerinde incelenmesi ve fotoğraflanması
2. Yapının rölevesinin çıkarılması (mimari çizimler ve taşıyıcı sistem planı)
3. Schmidt çekici ve ultrases yöntemleri ile beton malzeme dayanımının tayini
4. Donatı tespit cihazı ile donatı detaylarının çıkarılması
5. Dolgu duvarlar olmaksızın, yapı sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve teorik modal analiz yapılması
6. Teorik modal analiz sonuçlarına göre ivmeölçer sensör yerleşim planlarının çıkarılması
7. Yapı üzerinde ivmeölçer sensör yerleşimlerinin yapılması ve ortam titreşimi kayıtlarının alınması
8. Ortam titreşim kayıtları kullanılarak yapılan analizlerle yapının modal davranış parametrelerinin elde edilmesi
9. Teorik ve deneysel modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması
10. Teorik modal analiz sonucunda deneysel modal analiz sonuçlarının elde edilmesine imkân sağlayacak şekilde sonlu elemanlar modelinin güncellenmesi

Çalışmanın ilk beş aşaması, inşaat mühendisliği saha uygulamalarında sıklıkla tatbik edilen yöntemleri kapsamaktadır. Röleve alınırken öncelikle yapının plandaki toplam oturma alanı boyutları ve kat yüksekliği ölçülmüş ve sonrasında açıklıklar belirlenmiştir. Ölçümlerde hassas lazer metre ve yer yer çelik şerit metre kullanılmıştır. Mimari çizimler AUTOCAD [20] yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

Beton malzeme dayanımının tayininde Schmidt darbe çekici ve ultrases yöntemi uygulamaları birlikte yapılmıştır. İncelenen bina taşıyıcı elemanları üzerindeki sıvanın kaldırılması ve uygulamanın doğrudan beton yüzey üzerinden yapılması mümkün olmamıştır. Ancak, bir tür

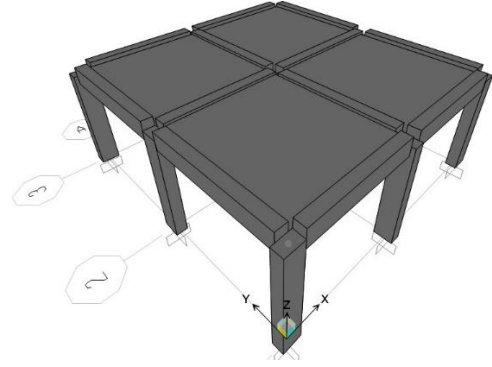
sağlama olması açısından incelenen binanın hemen bitişiğinde bulunan ve yapı ile aynı zamanda yapıldığı bilinen su deposu yapısındaki sıvasız yüzeylerde de ölçümler alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Beton malzeme üzerinde yapılan çalışma sonrasında; taşıyıcı elemanlarda çelik donatı tespiti için uygulama yapılmış ve tüm taşıyıcı elemanlar (*kiriş, kolon ve döşeme*) taranmıştır. Bahsi geçen tüm uygulamalarda Proceq marka cihazlar kullanılmıştır. Uygulamalara ilişkin görseller Şekil 3’ te sunulmaktadır.



Şekil 3. Saha çalışmasından görüntüler
Figure 3. Views from site studies

Yapının malzeme ve kesit özellikleri tayin edildikten sonra; operasyonel modal analiz çalışması öncesi sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve teorik modal analiz yapılarak dinamik davranış parametrelerinin, *mod şekilleri ve modal frekanslar*, hesaplanması önemli bir aşamadır. Zira, bu model üzerinde elde edilecek analiz sonuçları hem titreşim kayıtları için sensör yerleşim planının belirlenmesinde kullanılmakta hem de teorik ve deneysel modal davranış parametrelerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine esas teşkil etmektedir.

Yerinde inceleme çalışmaları sonucunda elde edilen kolon, kiriş, döşeme ve duvar özellikleri dikkate alınarak; yapı bilgisayar ortamında SAP2000 [21] yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu modelde dolgu duvarların yapısal davranışa olan katkısı *ihmal edilmiş*; sadece ağırlıkları dikkate alınmıştır. Çatı ölü yükü 0.4 kN/m^2 olarak döşemelere tanımlanmış ve duvar yüklerinin de dâhil edilmesi için modeldeki ölü yük faktörü %30 artırılarak analize esas sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Yapısal modele ait genel bir görüntü Şekil 4’ te sunulmaktadır.



Şekil 4. Yapının sonlu elemanlar modeli
Figure 4. Finite element model of the building

Yapısal analize esas model oluşturulup, teorik modal analiz yapıldıktan sonra operasyonel modal analiz çalışması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada yapılan çalışmaların nispeten daha detaylı olarak sunulmasında yarar görüldüğünden; bu bölümü takip eden kısımda detaylandırılmaktadır.

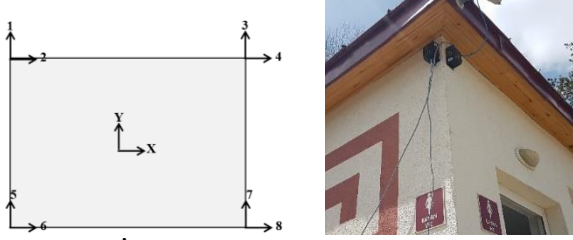
Operasyonel modal analiz uygulaması

Operasyonel modal analiz, mevcut yapıların dinamik davranış parametrelerinin yerinde tayini amacıyla kullanılan tahribatsız deneysel bir yöntemdir. Farklı mühendislik alanlarında uygulama bulan operasyonel modal analiz, inşaat mühendisliği alanında tarihi yığma yapılardan (Saisi vd. [22], Özkul [23], Kocaman vd. [24], Aslay ve Okuyucu [25]) çelik yapılara (Türker [26], Kömür vd. [27]) kadar farklı taşıyıcı sisteme sahip yapılarda muhtelif amaçlarla uygulanmaktadır. Yöntem, bu çalışmada tek katlı betonarme çerçeve türü taşıyıcı sistemi olan bir yapıya uygulanmış ve aşağıda sıralanan aşamalar takip edilmiştir.

İvmeölçer sensörlerin yerleştirilmesi ve titreşim kayıt sisteminin kurulması

Operasyonel modal analiz uygulamasının birinci aşaması ivmeölçer sensör yerleşimi çalışmasından oluşmaktadır. Çalışmada toplam 8 adet tek eksenli ölçüm alan, kablolu ivmeölçer sensör kullanılmıştır. Sensörler Şekil 5’ te sunulan krokiye uygun olarak bina köşelerindeki kolonların üst uçlarına yerleştirilmiştir. Yapının teorik modal analizinde hesaplanan ilk 3 mod şeklinde; binanın düşey hareketine ilişkin bir mod şekli olmadığı dikkate alınarak, düşey

yönde titreşim kaydı alınmamıştır. İvmeölçer sensörler sıcak silikon kullanılarak ölçüm noktalarına sabitlenmiş ve sonrasında kablolama işlemi yapılmıştır.



Şekil 5. İvmeölçer sensör yerleşim planı ve sensör yerleştirme uygulaması

Figure 5. Accelerometer instrumentation plan and view of application

Veri toplama işlemi 16 kanallı, taşınabilir dinamik veri toplama sistemi kullanılarak yapılmıştır. Veri kayıt işlemleri için TestLab Network [28] isimli yazılım kullanılmıştır. Veri toplama ve kayıt alma sisteminin genel bir görüntüsü Şekil 6’ da sunulmaktadır.



Şekil 6. Veri toplama sistemi genel görüntüsü

Figure 6. General view of data acquisition system

Titreşim (ivme) kayıtlarının alınması

Sensör yerleşimi tamamlandıktan sonra, öncelikle birkaç kez pilot ölçüm alınmış, bazı sensörler için kablo değişimi gerekli görülmüştür. Sistemde gerekli tüm kontroller yapıldıktan sonra titreşim kaydı aşamasına geçilmiştir.

Operasyonel modal analiz çalışmasında, yapının rastgele ortam titreşimlerine verdiği tepkilerin

ölçülmesi ve bu verinin işlenmesi suretiyle modal davranış parametrelerinin elde edilmesi esastır. Bu nedenle, yapı tepkisinden (*ölçülen ivme kayıtları*) modal davranış parametrelerinin elde edilebileceği bir titreşim kaydının alınması son derece önemlidir. Çalışma yapılan binanın bulunduğu bölgede yapının tepki verdiği temel titreşim kaynakları; yapıya yaklaşık 50m mesafede bulunan ana yoldan geçen motorlu araç kaynaklı zemin titreşimleridir. Ayrıca, çalışma yapılan gün piknik alanında çevre temizliği çalışmasının yapıldığı bir güne tesadüf etmiştir. Bu amaçla, yapı çevresinde sıklıkla römork bağlı traktörler hareket halinde olmuştur. Bu hususlar dikkate alınarak, ölçümler taşıt trafiğinin oldukça yoğun olduğu 11:00 – 14:00 saatleri arasında alınmıştır.

Titreşim kayıt süresi; yapıyı titreştiren sinyalin spektral şekli ve süresi, harmonik titreşimlerin varlığı, deneye tabi tutulan yapının karmaşıklığı, ölçüm ekipmanlarının kalitesi, vb. pek çok parametreye bağlıdır. Ancak, kabaca bir yaklaşımla dikkate alınan en düşük mod şekline ait periyot değerinin 500 katından daha fazla süre ile ölçüm alınması pratikte önerilmektedir. Buna ek olarak, ölçülen tepkilerde baskın harmonik titreşimlerin bulunması durumunda kayıt süresinin daha da uzun tutulması gerektiği; Jakobsen ve Andersen [29] çalışmasında ifade edilmektedir.

Tüm bu hususlar dikkate alınarak; 6 set 10 dakika ve 2 set 20 dakika süreli olmak üzere toplam 8 set ivme ölçüm ve kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir. İvme ölçüm ve kayıt frekansı 200 Hz ($\Delta_t = 0.005$ saniye)’ dir. Ölçüm birimi “g” dir.

İvme kayıtları kullanılarak mod şekilleri ve frekanslarının elde edilmesi

Yapının ortam titreşimlerine verdiği tepkiler ivme kayıtları olarak ölçülmüş ve Artemis Modal Pro [30] isimli yazılım kullanılarak işlenmiştir. Bu kapsamdaki çalışma beş aşamada gerçekleştirilmiştir

1. *Model geometrisinin oluşturulması:* Yapı geometrisine uygun olarak analize esas model oluşturmuş ve model toplam 8 düğüm noktasından teşkil edilmiştir. Ana taşıyıcı

olmaması nedeniyle çatı geometrisi modele yansıtılmamıştır.

2. *İvme kayıt dosyalarının yazılıma tanıtılması:* İvme kayıtlarının yer aldığı veri dosyaları Artemis Modal Pro yazılımına tanıtılmış; ölçüm aralığı, ölçüm birimi gibi parametreler dikkatle işlenmiş ve gerekli kontroller yapılmıştır.
3. *Titreşim kayıtlarının modele uygulanması ve analize hazır hale getirilmesi:* Yapısal titreşim kaydı alınan noktalarda ölçüm yönüne sadık kalınmak kaydıyla; titreşim kayıtları modele tanıtılmıştır. Kaydedilen toplam 8 set veri için bu işlem ayrı ayrı yapılmış ve her bir ölçüm ile model ayrı ayrı analiz edilecek şekilde çalışma gerçekleştirilmiştir.
4. *Analiz yapılarak mod şekilleri ve modal frekansların elde edilmesi:* Bu aşamada veri tanıtımı yapılmış nihai model üzerinde analiz çalışması yapılarak modal davranış parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır. Yapının teorik frekans değerleri dikkate alınarak; 0-20 Hz aralığında spektral yoğunluk fonksiyonları hesaplanmıştır. Öncelikle Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) tekniği kullanılarak, otomatik olarak mod şekli belirleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada saat 12:50:48 itibariyle alınan 10 dakikalık ölçümle yapılan analizde ilk iki mod şeklinin doğrudan belirlenmesi mümkün olmuştur. Bunun üzerine manuel olarak yapılan çalışma neticesinde üçüncü mod şekli ve ilgili frekans değerleri belirlenmiştir. FDD tekniği ile yapılan analiz çalışmasında sönüm değerlerinin elde edilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle, ikinci yöntem olan Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak ikinci bir analiz yapılmış ve sönüm oranları da hesaplanmıştır.
5. *Elde edilen mod şekillerinin tutarlılıklarının irdelenmesi:* Deneysel veri işlendikten sonra elde edilen mod şekillerinin güvenilirliğinin genel kabul gören bir yöntemle irdelenmesi önemli bir çalışmadır. Bu amaçla, Modal Güvence Kriteri (Modal Assurance Criterion – MAC) parametresi kullanılmıştır. Modal

güvence kriteri, mod şekillerinin birbirinden bağımsız olup olmadıklarının tayini amacıyla kullanılan bir istatistiki gösterge olduğu Pastor vd. [31] çalışmasında belirtilmektedir. Kriter, sayısal olarak 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. 1 değeri tam tutarlı mod şeklini ifade ederken; 0' a yakın değerler modların ayrık olduğu URL-3 [32] kaynağında ifade edilmektedir.

Teorik ve deneysel modal analiz sonuçları karşılaştırıldığında ilk 3 mod şeklinin aynı; ancak ilgili modal frekansların farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerlendirme neticesinde, yapısal analize esas sonlu elemanları modelinin deneysel modal analiz sonuçlarını verecek şekilde güncellenmesi amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu aşamada öncelikle beton malzeme elastik modülünün değiştirilmesi yöntemi kullanılmış; ancak tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Devamında, dolgu duvarların çapraz elemanlar olarak modele eklenmesi yoluna gidilmiş ve bu aşamada duvar boşluk oranları dikkate alınarak her bir çapraz eleman için ayrı ayrı elastik modül değeri hesaplanmıştır.

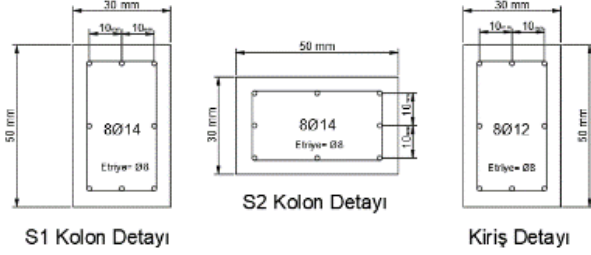
Bulgular ve tartışma

Beton dayanımı tayini ve kesit donatı detaylarının elde edilmesi

Schmidt beton darbe çekici uygulaması neticesinde beton küp numune dayanımının ~25 MPa mertebesinde olduğu ve bunun da C20 sınıfı betona tekabül ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, defaten ölçüm alınmasına ve farklı korelasyon ilişkileri kullanılmış olmasına rağmen ultrases yöntemi ile beton dayanımı tayini yapılması mümkün olmamıştır. Kullanılan cihaza otomatik olarak tanımlanmış kalibrasyon bağıntılarının yanı sıra; Zebari vd. [33] çalışmasında sunulan kalibrasyon bağıntıları da hesaplamalarda kullanılmıştır. Çalışma yapılan kolon ve kiriş yüzeylerinde sıva kaplamalarının olması, çelik donatıların beton içerisinde ilerleyen ultrasonik dalga hız ölçümlerini etkilemesi nedeniyle stabil ölçümler alınamadığı değerlendirilmektedir.

Donatı tespit çalışmaları sonucunda kolonlarda Ø14, kirişlerde ve döşemede ise Ø12 boyuna donatı kullanıldığı belirlenmiştir. Tüm

elemanlarda paspayının ortalama 50 mm mertebesinde olduğunu söylemek mümkündür. Enine donatı olarak Ø8/150 mm uygulamasının tüm kolon ve kirişlerde aynı şekilde tatbik edilmiş olduğu belirlenmiştir. Kolon ve kiriş uç bölgelerinde etriye sıklaştırması uygulaması yapıldığı ve burada etriye aralıklarının ~100mm olduğu tespit edilmiştir. Kolon ve kirişlere ait kesit detay çizimleri Şekil 7’ de sunulmaktadır.



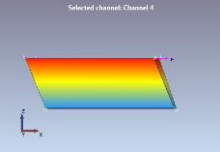
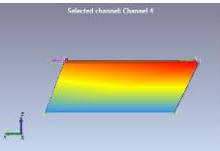
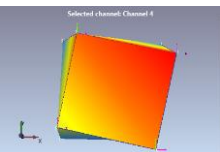
Şekil 7. Taşıyıcı eleman kesit detayları

Figure 7. Sectional details of structural elements

Teorik ve deneysel modal analiz sonuçları

Operasyonel modal analiz çalışması dâhilinde FDD ve EFDD yöntemleri kullanılarak analizler yapılmış; elde edilen yapı dinamik davranış karakteristikleri Tablo 1’ de sunulmuştur. EFDD yöntemi ile yapılan analiz sonucunda sönüm oranlarının hesaplanması da mümkün olmuştur. Her iki yöntemde de mod şekillerinin aynı olduğu ve hesaplanan modal frekans değerleri arasındaki farkın %1’ den az olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Operasyonel modal analiz sonuçları
Table 1. Results of operational modal analysis

Mod	Mod Şekli	Frekans Alanında Çözümleme (FDD)		Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)		Frekans Farkı (%)
		Frekans (Hz)	Sönüm (%)	Frekans (Hz)	Sönüm (%)	
1	 X Yönünde Yatay Öteleme	12.070	-	12.032	0.497	0.31
2	 Y Yönünde Yatay Öteleme	13.047	-	13.038	0.234	0.07
3	 Z Ekseninde Burulma	15.684	-	15.696	0.046	-0.08

Analizler sonucunda elde edilen mod şekillerinin tutarlı ve ayırık olup olmadıklarının kontrolü amacıyla, Artemis Modal Pro yazılımının hesaplama aracı kullanılarak modal güvenlik kriteri değerleri hesaplanmış ve Tablo 2’ de sunulmuştur. Mod şekillerine ilişkin modal

güvence kriteri değerleri incelendiğinde, diyagonal sırada yer alan değerlerin tam olarak 1, köşe değerlerin ise sıfıra son derece yakın değerleri olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, operasyonel modal analiz neticesinde elde edilen mod şekillerinin tutarlı ve birbirinden bağımsız

(ayrık) olduğunu göstermektedir. Bu nedenle; deneysel olarak elde edilen mod şekilleri ve frekansların teorik model kalibrasyonunda kullanılabilirlikte olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Teorik ve deneysel modal frekans

karşılaştırma ve sonlu elemanlar modeli kalibrasyon çalışmalarında EFDD analizi sonucunda elde edilen deneysel değerlerin kullanılması uygun bulunmuştur.

Tablo 2. FDD ve EFDD analizleri sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin modal güvence kriteri değerleri

Table 2. Modal assurance criteria values calculated for FDD and EFDD analysis

	12.07 Hz	13.05 Hz	15.68 Hz
Frekans Alanında Çözümleme (FDD)	12.07 Hz	1	0.04383
	13.05 Hz	0.04383	1
	15.68 Hz	0.09042	0.04446
Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)	12.03 Hz	1	0.04911
	13.04 Hz	0.04911	1
	15.70 Hz	0.08804	0.04874

Operasyonel modal analiz çalışması öncesinde SAP2000 yazılımı kullanılarak hazırlanan sonlu elemanlar modeli üzerinde hesaplanan teorik modal analiz sonuçları ile deneysel çalışma sonucunda yapı üzerinde elde edilen modal davranış parametreleri Tablo 3' te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Değerlendirme neticesinde; deneysel ve teorik mod şekillerinin aynı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, modal frekanslar kıyaslandığında ~%75-100 mertebesinde, oldukça büyük, farklar olduğu tespit edilmiştir. Çalışma başlangıcında oluşturulan sonlu elemanlar modelinde dolgu duvarların ağırlıkları modele yansıtılmış; ancak yanal rijitliğe olan

katkıları ihmal edilmiştir. Teorik ve deneysel modal frekanslar arasındaki farkın dolgu duvar etkisinden kaynaklanabileceğine işaret eden Okuyucu [34] benzeri çalışmalar dikkate alınarak; sonlu elemanlar modelinin deneysel modal analiz sonuçlarına yakın sonuçlar verecek şekilde kalibre edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Buradaki temel amaç, sonlu elemanlar modeli üzerinde daha sonra gerçekleştirilecek yapısal analizlerde (performans belirleme, artımsal itme analizleri, vb.) kullanılacak, dinamik davranış parametreleri üzerinden kalibre edilmiş bir modelin oluşturulmasıdır.

Tablo 3. Teorik ve deneysel modal davranış parametrelerinin karşılaştırılması

Table 3. Comparison of theoretical and experimental modal analysis results

Mod	Mod Şekli	Modal Frekans (Hz)		Fark (%)
		Teorik (dolgu duvarsız)	Deneysel	
1	X Yönünde Yatay Öteleme	6.801	12.032	76.92
2	Y Yönünde Yatay Öteleme	7.431	13.038	75.45
3	Z Eksenine Etrafında Burulma	7.917	15.696	98.26

Sonlu elemanlar model kalibrasyonu çalışmalarında genel olarak; Costa vd. [35] çalışmasında da belirtildiği şekilde mesnet koşullarının güncellenmesi, geometrik ölçülerin gözden geçirilmesi ya da malzeme özelliklerinin değiştirilerek analizlerin yenilenmesi yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, deneysel ve teorik mod şekilleri gerek sıralama ve gerekse şekil olarak aynı çıktığından mesnet koşulları ve

geometrik ölçülerin güncellenmesi yöntemlerinin kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Malzeme elastik modül değerlerinin değiştirilmesi suretiyle, deneysel modal analiz sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Başlangıçta oluşturulan sonlu eleman modelinde; TS500 [36] uyarınca C20 sınıfı beton için elastik modül değeri 28534 MPa olarak hesaplanmış ve tüm taşıyıcı elemanlara bu

değer atanmıştır. Modal frekans farkını azaltmak için söz konusu elastik modül değeri artırılarak analizler tekrarlanırsa da deneysel sonuçlara yakın değerler elde edilmesi mümkün olmamıştır. Bu durumda; dolgu duvarların diyagonal çaprazlar şeklinde modele eklenmesi yoluna gidilmiştir. Dolgu duvarların betonarme çerçeve türü yapıların davranışı üzerindeki etkisinin deneysel ve teorik olarak incelendiği çok sayıda çalışmaya literatürde erişim sağlamak mümkündür. Bu çalışmalar arasında; Polyakov [37] çalışması dolgu duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin incelendiği en eski çalışmalardan birisi olarak bilinmektedir. Mainstone [38] ise kendinden önceki önemli çalışmaları temel

olarak; dolgu duvarların yapısal modellemeye eşdeğer diyagonal çapraz elemanlar ile temsil edilmesine ilişkin formülasyon önerisini geliştirmiştir. Bu çalışmalardan hareketle, kalınlıkları ~250mm olan duvar kalınlığına eşit; genişlikleri ise 500 mm olan kesitlere sahip diyagonal basınç çubukları olarak sonlu elemanlar modeline eklenmiştir. Sadece aksel basınca çalışan diyagonal elemanlar çerçevelere moment aktarmayan birleşimler şeklinde bağlanmıştır. Tablo 4’ te sunulan çapraz eleman elastik modül değerleri belirlenirken duvarların boşluk oranları ve TBDY-2018 [39]’ de sunulan duvar elastik modül bağıntısı dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Duvarları temsil eden diyagonal çubuk elemanlar için belirlenen elastik modül değerleri
Table 4. Modulus of elasticity values for diagonal struts that represent infill walls

Eleman	Elastik Modül (MPa)
Kolon, kiriş ve döşeme	28534
İç duvar diyagonal eleman	3000
Batı duvar diyagonal eleman	3150
Doğu duvar diyagonal eleman	5450
Güney duvar diyagonal eleman	2900
Kuzey duvar diyagonal eleman	3720

Dolgu duvar eklentileri ile kalibre edilmiş model üzerinden hesaplanan teorik modal analiz sonuçları ile deneysel modal analiz sonuçları Tablo 5’ te karşılaştırılmıştır. Mod şekillerinin aynı ve ilgili modal frekanslar arasındaki farkın

~%1 değerinin altında olduğu görülmüştür. Bu sonuç, yapısal eleman olarak kabul edilmeyen dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem yanal rijitliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Tablo 5. Kalibre edilmiş sonlu elemanlar modeli üzerinde hesaplanan teorik ve deneysel modal davranış parametrelerinin karşılaştırılması

Table 5. Comparison of experimental and theoretical modal behavior parameters that calculated on calibrated finite element model

Mod	Mod Şekli	Modal Frekans (Hz)		Fark (%)
		Kalibre Edilmiş Teorik	Deneysel	
1	X Yönünde Yatay Öteleme	12.031	12.032	0.01
2	Y Yönünde Yatay Öteleme	13.041	13.038	-0.02
3	Z Ekseni Etrafında Burulma	15.743	15.696	-0.30

Çalışmanın bütününde teorik ve deneysel olarak belirlenen modal davranış parametreleri toplu halde Tablo 6’da sunulmaktadır. Tablo incelendiğinde duvarların ihmal edildiği sonlu elemanlar modeli üzerinden hesaplanan modal frekans değerlerinin; mevcut yapı üzerinde

operasyonel modal analiz yöntemi ile belirlenen değerlerin yaklaşık yarısı mertebesinde olduğu görülmektedir. Dolgu duvarların diyagonal çaprazlar olarak modele eklenmesi ile birlikte deneysel olarak elde edilen modal davranış parametreleri yakalanmıştır. Bu durum, dolgu

duvarların betonarme çerçeve türü sistemlerde yapı yanal rijitliğini önemli ölçüde etkilediğini, Smith [40], Okuyucu [34] ve Baran [41]

çalışmalarına benzer şekilde, bir kez daha ortaya koymuştur.

Tablo 6. Yapı için belirlenen teorik ve deneysel modal analiz sonuçları
Table 6. Theoretical and experimental modal analysis results of the structure

Mod	Mod Şekli	Modal Frekans (Hz)		
		Duvar Eklentisiz Teorik Model	Operasyonel Modal Analiz	Duvar Eklentili-Kalibre Teorik Model
1	X Yönünde Yatay Öteleme	6.801	12.032	12.031
2	Y Yönünde Yatay Öteleme	7.431	13.038	13.041
3	Z Ekseni Etrafında Burulma	7.917	15.696	15.743

Sonuçlar

Bu çalışmada; hakkında hiçbir teknik bilgi bulunmayan, tek katlı betonarme bir yapı ele alınmış ve operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak modal davranışı incelenmiştir. Çalışmanın malzeme karakterizasyonundan oluşan ilk safhasından itibaren tahribatsız yöntemler kullanılmıştır. Operasyonel modal analiz çalışması ile dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesi ve bu sonuçlar kullanılarak sonlu elemanlar modelinin kalibre edilmesi mümkün olmuştur. Elde edilen nihai modelin, sonraki safhalarda gerçekleştirilecek yapısal analizlere esas model olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma neticesinde aşağıdaki değerlendirmelerin yapılması mümkündür:

- Betonarme taşıyıcı elemanların imal edildiği beton malzeme karakterizasyonu için Schmidt çekici ve ultrases yöntemi uygulamaları gerçekleştirilmiş; ancak ultrases yöntemi uygulamasından tutarlı sonuçlar elde edilememiştir.
- Bu çalışmanın en tartışmalı yanı; basınç mukavemeti testi ile belirlenmiş bir beton dayanımının bilinmeyişi ve Schmidt çekici uygulaması ile elde edilen değerlerin analizlerde kullanılmış olmasıdır. Binadan karot numune alımı yapılmamıştır.
- Operasyonel modal analiz uygulaması için yapı üzerinde toplam sekiz set titreşim ölçümü alınmış, tamamı üzerinden veri işleme çalışması yapılmıştır. Bu ölçümlerden, yapı çevresinde akan trafiğin en yoğun olduğu saatte alınan ölçüm üzerinde yapılan veri

işleme çalışmasında; ilk iki mod şekli otomatik olarak elde edilmiştir. Bu nedenle incelenen yapı ve benzeri yapılar için çevresel titreşim etkilerinin yoğun olduğu zamanlarda yapı tepkilerinin ölçülmek suretiyle operasyonel modal analiz uygulaması yapılması önerilmektedir.

- Dolgu duvarların yapı yanal rijitliğine olan katkısının ihmal edildiği sonlu elemanlar modeli üzerinde hesaplanan teorik modal analiz sonuçları ile operasyonel modal analiz çalışması ile elde edilen modal davranış parametreleri karşılaştırıldığında; ilk üç mod şeklinin uyumlu olduğu, ancak modal frekanslar arasında farklar olduğu belirlenmiştir.
- Sonlu elemanlar modelinin güncellenerek operasyonel modal analiz sonuçlarına yakın modal davranış parametreleri elde edilebilmesi için öncelikle beton elastik modül değerinin artırılması yoluna gidilmiş; ancak bu çalışmadan olumlu sonuç alınamamıştır. Literatürde malzeme elastik modülünün değiştirilmesi suretiyle yapısal model kalibrasyonu gerçekleştirilen çok sayıda yığma yapı uygulamasına, Aslay (2019) örneğindeki gibi, erişim sağlamak mümkündür. Yığma yapılarda ana taşıyıcıların duvarlar olması ve duvar elastik modül değerinin değiştirilmesi ile tüm sistem rijitliğinin değiştirilerek model kalibrasyonu yapılması mümkündür. Ancak, betonarme çerçeve türü yapılarda, yanal rijitlik sadece ana taşıyıcı elemanlara bağlı olmayıp çerçeve açıklıklarındaki dolgu duvarların katkısı da önemlidir. Bu nedenle, dolgu duvar

rijitliklerinin ihmal edilip sadece beton malzeme özelliklerinin değiştirilmesi ile incelenen betonarme yapıya ait sonlu eleman modeli kalibrasyonunun yapılması mümkün olmamıştır.

- Model kalibrasyonu çalışmasının ikinci aşamasında dolgu duvarlar sonlu elemanlar modeline salt aksenal basınca çalışan çapraz elemanlar olarak tanımlanmış; elastik modül değerleri belirlenirken ilgili duvar boşluk oranı hesaba katılmıştır. Bu şekilde oluşturulan sonlu elemanlar modeli üzerinde hesaplanan modal davranış parametrelerinin operasyonel modal analiz uygulaması ile yapı üzerinde elde edilen değerlere çok yakın olduğu (en büyük frekans farkı %0.3) görülmüştür. Benzer çalışmalarda, dolgu duvarların ve duvar tanımlama aşamasında boşluk oranlarının dikkate alınması önerilmektedir.
- Betonarme çerçeve türü yapılar ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında bu yapıların performans değerlendirmelerinin yapılması ve yapı hakkında teknik kararlar verilmesi nitelikli inşaat mühendisliği hizmeti alınması gerekmektedir. Bu yapıların büyük bölümüne ilişkin mimari-statik proje, vb. teknik dokümana erişim sağlamanın mümkün olmadığı da bir gerçektir. Bu bakımdan, bu metinde detayları sunulan araştırmaya benzer çalışma sayısı ve uygulama bilgisi arttıkça; tahribatsız bir yöntem olan operasyonel modal analiz ile mevcut betonarme yapıların durum tespiti ve yapısal performans değerlendirmelerinin yapı genelinden elde edilecek modal davranış parametreleri üzerinden yapılmasının önemli bir teknik kazanım olacağı düşünülmektedir. Betonarme çerçeve türü yapılar üzerinde operasyonel modal analiz uygulaması sayısının artırılarak çalışma detay ve sonuçlarının literatüre eklenmesine ihtiyaç olduğu ifade edilebilir.

Teşekkür

Yazar, sundukları katkılar ile çalışmayı mümkün kılan Erzurum Teknik Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanı Sayın Ali ÇELİK ve Güvenlik Birimi Amiri Sayın Murat UCUN' a destekleri için teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] URL-1: <https://insapedia.com/schmidt-cekici-beton-test-cekici-denevi/> (Erişim tarihi: 07.01.2020)
- [2] Kazemi, M., Madandoust, R., de Brito, J., (2019). Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using schmidt rebound hammer and core testing, *Construction and Building Materials*, **224**, 630-638.
- [3] Müller, P., Novák, J., Holan, J., (2019). Destructive and non-destructive experimental investigation of polypropylene fibre reinforced concrete subjected to high temperature, *Journal of Building Engineering*, 26: Article 100906.Z.
- [4] Whitehurst, E.A., (1951). Use of the soni scope for measuring setting time of concrete, *ASTM*, **51**, 1166-1176.
- [5] Durmuş, G., Yılmaz, C., (2009). Farklı oranlardaki yapay puzolan katkılı betonların su işleme derinliğinin ultrases geçiş hızı ile değerlendirilmesi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 4,1, Article Number: 1A0006.
- [6] Abdullah, V., Aydın, E., Bedirhanoglu, İ., (2017). Beton elasatisite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **8**, 3, 475-484.
- [7] Ahn, E., Shina, M., Popovicsb, J.S., Weaver, R.L., (2019). Effectiveness of diffuse ultrasound for evaluation of micro-cracking damage in concrete, *Cement and Concrete Research*, **124**, Article Number 105862.
- [8] URL-2: <https://www.pcte.com.au/rebar-location> (Erişim tarihi:06.02.2020)
- [9] Rathod, H., Debeck, S., Gupta, R., Chow, B., (2019). Applicability of GPR and a rebar detector to obtain rebar information of existing concrete structures, *case studies in construction materials*, **11**, e00240.
- [10] Brincker, R., Ventura, C., (2015). *Introduction to Operational Modal Analysis*, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, Press.
- [11] Yetkin, M., (2016). Betonarme yapıların çevresel titreşim verileri kullanılarak dinamik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [12] Link, M., (1993). Updating of analytical models-procedures and experience. Proc., *Conference on Modern Practice in Stress and Vibration Analysis*, Sheffield, UK, 35-52.

- [13] Altunışık, A.C., Karahasan, O.S., Genç, A.F., Okur, F.Y., Günaydın, M., Kalkan, E., Adanur, S., (2018). Modal parameter identification of RC frame under undamaged, damaged, repaired and strengthened conditions, *Measurement*, **124**, 260-276.
- [14] Polimeno, M.R., Roselli, I., Luprano, V.A.M., Mongelli, M., Tati, A., de Canio, G., (2018). A non-destructive testing methodology for damage assessment of reinforced concrete buildings after seismic events, *Engineering Structures*, **163**, 122-136.
- [15] Şafak, E., Çelebi, M., (1992). Recorded seismic response of Pacific Park Plaza. II: system identification, *Journal of Structural Engineering*, **118**, 1566-89.
- [16] Zhu, Y.C., Xie, Y.L., Au, S.K., (2018). Operational modal analysis of an eight-storey building with asynchronous data incorporating multiple setup, *Engineering Structures*, **165**, 50-62.
- [17] Cantieni, R., (2005). Experimental methods used in system identification of civil engineering structures. Proc., *1st International Operational Modal Analysis Conference*, Copenhagen, Denmark, 249-260.
- [18] Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A.C., Sevim, B., Özcan, M., (2010). Binaların dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 5185-5205.
- [19] Brincker, R., Andersen, P., Zhang, I., (2000). Modal identification from ambient responses using frequency domain decomposition. Proc., *18th International Modal Analysis Conference (XVIII IMAC)*, San Antonio, Texas, USA.
- [20] AUTOCAD, (2019). Design and Drafting Software, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [21] SAP2000, (2019). Structural Software for Analysis and Design, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [22] Saisi, A., Gentile, C., Guidobaldi, M., (2015). Post-earthquake continuous dynamic monitoring of the Gabbia Tower in Mantua - Italy, *Construction and Building Materials*, **81**, 101-112.
- [23] Özkul M., (2016). Determination of structural safety of a historical structure using operational analysis, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [24] Kocaman, İ., Okuyucu, D., Kazaz, İ., (2019). Tarihi yapı malzeme özelliklerinin dinamik parametrelerle belirlenmesi: Lala Paşa Camii Örneği, *İMO Teknik Dergi*, **30**, 3, 9146-9125.
- [25] Aslay, S.E., Okuyucu, D., (2019). Erzincan Değirmenliköy Kilisesi apsis hasarının teknik olarak araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **35**, 1, 402-387.
- [26] Türker, T., (2005). Çelik çerçeve sistemlerin dinamik karakteristiklerinin deneysel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [27] Kömür, M., Deneme, İ., Yerli, H., (2016). Düzlem çelik çerçeve sistemlerin operasyonel modal analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **30**, 2, 80-73.
- [28] TestLab Network, (2019). Dinamik Veri Toplama Yazılımı, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [29] Jacobsen, N.J., Andersen, P., (2008). Operational modal analysis on structures with rotating parts. Proc., *ISMA Conference: International Conference On Noise And Vibration Engineering*, Leuven, Belgium.
- [30] Artemis Modal Pro, (2019). Operational Modal Analysis Software, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [31] Pastor, M., Binda, M., Harcarik, T., (2012). Modal assurance criterion, *Procedia Engineering*, **48**, 543-548.
- [32] URL-3: http://www.svibs.com/resources/ARTEMIS_Modal_Help/Generic%20Modal%20Assurance%20Criterion%20Window.html (Erişim tarihi:06.02.2020)
- [33] Zebari, Z., Bedirhanoglu, İ., Aydın, E., (2017). Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **8**, 1, 52-43.
- [34] Okuyucu, D., (2011). Effects of frame aspect ratio on the seismic performance improvement of PC panel strengthening technique, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [35] Costa, C., Ribeiro, D., Jorge, P., Arede, A., Calçada, R., (2016). Calibration of the numerical model of a stone masonry railway bridge based on experimentally identified modal parameters, *Engineering Structures*, **123**, 354-371.
- [36] TS500-2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [37] Polyakov, S.V., (1956). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall, translation in earthquake engineering, Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco, USA, 36-42.
- [38] Mainstone, R., (1971). On the stiffness and strength of infilled frames, *Proceedings Institution of Civil Engineers*, **48**, 57-90.
- [39] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (2018).
- [40] Smith, B.S., (1962). Lateral stiffness of infilled frames, *ASCE Journal of Structural Division*, **88**, 6, 183-199.
- [41] Baran, M., (2012). Dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılarının davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **27**, 2, 275-284.

Pazar Yerinde Gürültü Kirliliğinin Belirlenmesi: Bursa İli Örneği

Determination of Noise Pollution in Market Place: Bursa Case Study

Melike Yahlı Kılıç^{1*}, Sümeyye Adalı¹

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa,

e-mail: myalili@uludag.edu.tr (M.Yahlı Kılıç), 501904007@ogr.uludag.edu.tr (S. Adalı), Tel: 0-224-294 21 17

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 13 May 2020

Düzeltilme: 15 Eylül 2020

Kabul: 17 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Bursa, çevre kirliliği, gürültü, pazar yeri, yerleşim alanı

ÖZET

Çevre sorunları arasında yer almasına rağmen niteliği açısından diğerlerine göre daha az önemsenen gürültü kirliliği, kent yaşamında önemli bir problem haline gelmiştir. Sanayileşme ve kentleşme faaliyetlerinin artışıyla büyüyen gürültü sorunu, özellikle insan sağlığına verdiği zararlar nedeniyle büyük bir tehlike oluşturmakta ve halk tarafından tepki görmektedir. Birçok farklı alanda görülen gürültünün olduğu yerlerden birisi de pazar yerleridir. Pazarcılarının erken saatlerde pazar yerlerine gelmeleriyle başlayan gürültü, satış yapmak için yüksek sesle bağırmaları ile devam etmektedir. Ayrıca, müşterilerin alışveriş için pazar yerlerine araçlarla gelmeleri ilave gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada Bursa'nın Nilüfer ilçesi Görükle beldesinde yer alan bir pazar yerinde seçilen 11 noktada üç ay süreyle gürültü ölçümleri yapılmıştır. Belirlenen noktalarda 2019 yılı Mart-Nisan-Mayıs aylarında cumartesi sabah, öğle ve akşam saatlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm esnasında en büyük ve en küçük değerler kayıt edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (ÇGDYY) verilen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve sınır değerleri geçen noktalar tespit edilerek gürültünün azaltılması için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.736027

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13 May 2020

Revised: 15 September 2020

Accepted: 17 September 2020

Keywords:

Bursa, environmental pollution, noise, market place, residential area

ABSTRACT

Although it is among the environmental problems, noise pollution, which is less important in terms of quality than others, has become an important problem in urban life. The noise problem, which grows with the increase in industrialization and urbanization activities, poses a great danger and is reacted by the public, especially due to the damages it causes to human health. One of the places where noise occurs in many different areas is marketplaces. The noise, started with the sellers coming to the marketplace in the early hours, continues with the loud shouts of sellers. In addition, customers' coming to the marketplaces by their vehicles for shopping cause additional noise pollution. In this study, noise measurements were carried out for three months at 11 points selected in a marketplace located in the Görükle, Nilüfer district of Bursa. In the determined points, measurements were made on Saturday morning, lunch and evening hours in March-April-May 2019. During the measurement, the largest and smallest values were recorded. The results obtained were compared with the limit values given in the Regulation on the Assessment and Management of Environmental Noise (RAMEN) and various suggestions were made to reduce noise by determining the points exceeding the limit values.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Melike YALILI KILIÇ

✉ myalili@uludag.edu.tr

Giriş

Maddelerin hareket halindeyken havada oluşturduğu basınç salınımlarına ses, sesin canlılar üzerinde zararlı etkiler oluşturabilecek seviyede olma durumuna gürültü denir [1]. Gürültü genellikle ulaşım, sanayi, imar çalışmaları ve yerleşim yerlerindeki insan kaynaklı faaliyetler sonucu oluşur [2]. Gündelik yaşamda insanlar buldukları ortamlarda birden fazla gürültü kaynağına maruz kalmaktadır [3,4]. Sanayileşme ve kentleşme faaliyetleri ile gittikçe artan gürültü sorunu, hayat kalitesini ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir [5,6]. Toplumlar görece farklılıklar görülmesine rağmen, gürültü seviyesinin genellikle 55 dBA'yı aşması durumunda insanlarda rahatsızlık hissi oluşturduğu bildirilmektedir [2].

Gürültü, sağlık üzerinde birçok olumsuz etki oluşturmaktadır. Gürültünün oluşturduğu fizyolojik etkiler arasında işitme sorunları, kalp atışının hızlanması, metabolik bozukluklar, uyku bozukluğu; psikolojik etkiler arasında sinir sisteminin bozulması, hoşnutsuzluk, tedirginlik hissi; performans etkileri arasında iş verimi ve konforunda azalma, dinleme ve anlamada güçlük çekme, konsantrasyon bozukluğu yer almaktadır [7,8]. Gürültü, özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olarak gerçekleştirildiği ülkelerde işitme kaynaklı meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına ve çalışanların yaşam kalitesinde düşüşe neden olmaktadır [9,10].

Oluşturduğu olumsuz etkiler nedeniyle son dönemlerde üzerinde çalışılan çevre sorunlarından biri olan gürültü kirliliğinin belirlenmesi amacıyla, farklı ortamlarda ve sektörlerde yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır [11]. Gürültü ölçümleri gerçekleştirilen ortamlar arasında hastane [12,13], okul [14,15], iş yerleri [16-18], farklı alanlarda hizmet veren endüstriyel işletmeler [19-21], yerleşim yerleri [22,23] ve ulaşım faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlar [24-27] yer almaktadır.

Kentleşme faaliyetlerinin başlamasıyla beraber ortaya çıkan pazar yerleri, kamusal alan ve yaya bölgesi olarak sınıflandırılmakla birlikte günün her saatinde yoğun olarak kullanılmaktadır

[28,29]. Çoğunlukla tarım ürünlerinin satışının gerçekleştiği pazar yerleri tarımsal üretimin sürdürülmesi ve güçlenmesine katkı sağlamaktadır [30]. Toplumda ekonomik ürünlerin temininde oldukça önemli bir rol üstlenen pazar yerlerinde, çevreye verilen gürültü günün değişik zaman dilimlerinde yüksek seviyelerde seyredilmektedir. Kurulduğu bölgede trafik yoğunluğu oluşturması, satış yapan pazarcıların müşterilerine yüksek sesle ürünlerini sunmaları, pazar yerlerinde oluşan gürültü seviyesinin artarak devam etmesine yol açmaktadır.

Çalışkan [31]'ın Bursa'daki pazar yerleri ve sorunlarını ele aldığı çalışmasında gürültünün bu alanlarda problem teşkil ettiği belirtilmektedir. Yağbasan ve Canpolat [32] yaptıkları çalışmada pazar yerlerinden kaynaklanan gürültünün eğitim-öğretim ortamına olumsuz etkide bulunduğunu ve pazarcıların ürünlerinin satışını gerçekleştirmek için yaptıkları bağırma eyleminin halk tarafından olumsuz karşılandığını ifade etmişlerdir. Dalyan belediyesi yaz döneminde belde merkezindeki trafik ve nüfus yoğunluğunu arttırması nedeniyle merkezdeki pazar yerini taşıma kararı almıştır [33]. Yerli [29], Düzce kentinde yaptığı çalışmada 1 yıllık süre boyunca pazar yerinde birbirine eşit mesafede bulunan 6 noktada haftalık olarak gerçekleştirdiği ölçümlerle oluşan gürültüyü belirlemiştir. Ölçüm sonuçları aylık bazda karşılaştırıldığında en yüksek ortalama değer 70 dBA değeri ile ağustos, en düşük ortalama değer 56 dBA değeri ile aralık ayında hesaplanmıştır.

Ülkemizde gürültü kirliliği ile ilgili hazırlanan ilk çalışma 11 Aralık 1986'da yayınlanan "Gürültü Kontrol Yönetmeliği"dir [34]. Günümüzde ise, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) olarak geçerliliğini koruyan yönetmelikte birçok alanda olduğu gibi, kentlerdeki donatı alanlarından biri olan ve bu çalışmanın ana konusunu teşkil eden pazar yerleri için insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla gürültü sınır değerleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesi Görükle yerleşim yerinde bulunan bir pazar yerinden kaynaklanan gürültünün belirlenmesi amacıyla, 11 noktada gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ÇGDYY'deki sınır değerlerle karşılaştırılarak, bu değerlerin sağlanıp sağlanamadığı belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

Yerleşim yerlerinde çeşitli faaliyetler sonucu oluşan gürültü kirliliği, toplumda ve özellikle kent yaşamında ciddi problem teşkil etmektedir. Bu nedenle birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de hazırlanan yönetmelik ve yapılan düzenlemelerle gürültü kirliliği kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan yerleşim alanı Görükle, Bursa'nın Nilüfer ilçesine bağlı eski bir köydür. Köyün sınırları içerisinde bulunan üniversite dolayısıyla özellikle son yıllarda büyük bir büyüme göstermiştir. Eski bir Rum köyü olan Görükle, Yeşil Cami'nin vakıf köyüdür. İşgal yıllarında tahrip edilen Görükle'ye, savaş sonunda Rumların kenti terk etmesiyle, 1924 yılında Yunanistan'ın Langaza kazasının çeşitli köylerinden ve diğer bölgelerden gelen göçmenler yerleştirilmiştir. 1955 yılında bucak, 1957 yılında belde olan Görükle'de belediye

örgütü kurulmuştur. Görükle'ye ait üç bin dönüm mera, 1988 yılında Bursa Büyükşehir Belediyesine dahil olduktan sonra istimlak edilerek, bir kısmına Uludağ Üniversitesi kampüsü kurulmuştur [35]. Öğrencilerin eğitimleri süresince üniversiteye yakın olması nedeniyle yaşamayı tercih etmeleri dolayısıyla, Görükle genç nüfus oranının yüksek olduğu bir yerleşim bölgesidir. Görükle'nin merkezinde yer alan pazarın çevresinde birden fazla sağlık (veteriner kliniği, sağlık ocağı) ve eğitim kurumu (ilkokul, öğretim kursu, sürücü kursu) ile kırtasiye, emlak, oto yıkama, lokanta, market, eczane, butik vb. birçok ticari işletme yer almaktadır.

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesine bağlı Görükle semtinde kurulan pazar yerinden kaynaklanan gürültünün belirlenmesi amacıyla, pazar alanında ve pazar yerinin çevresinde park alanlarını sınırlayan trafik yollarına yakın noktalarda gürültü ölçümleri yapılmıştır.

Belirlenen bu noktalarda 2019 yılı Mart-Nisan-Mayıs aylarında cumartesi günü kurulan pazar yerinde sabah, öğle ve akşam saatlerinde ölçümler yapılmıştır. Yaklaşık 3 bin 150 m²'lik alanda kurulu bulunan [36] pazar yeri ve çevresinin uydu görüntüsü ile gürültü ölçümü yapılan noktalar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Görükle pazar yeri ve çevresi [37]

Dikdörtgen olarak inşa edilmiş yapı içerisinde ölçüm alınan noktalarda, kısa kenar üzerindeki noktalar arasında yaklaşık 16 m; uzun kenar üzerindeki noktalar arasında yaklaşık 44 m mesafe vardır. Yapı dışında seçilen noktaların yapıya olan uzaklığı yaklaşık 10 m'dir. Ölçümler, sabah 08.00-09.00, öğlen 12.00-13.00 ve akşam 17.00-18.00 saatlerinde 3'er dakikalık periyotlar halinde yapılmıştır. Ölçüm esnasında en büyük ve en küçük değerler kayıt edilmiştir. Gürültü ölçümleri 1.2 metre yükseklikten, zeminle 45° açı oluşturacak şekilde gerçekleştirilmiştir [38]. Ölçümlerin hava şartlarından etkilenmemesi amacıyla rüzgarın hafif olduğu ve yağışın olmadığı günlerde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm esnasında olağan dışı gürültü durumları not edilmiş, bu gibi durumlarda ölçümler tekrarlanmıştır. Sabah ve öğle ölçümü yapıldıktan sonra, eğer akşam yağmurlu veya rüzgarlı bir hava olursa bütün bir günün ölçümü iptal edilmiştir. Çalışmada gürültü ölçümleri için EXTECT 407738 ses ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 2).



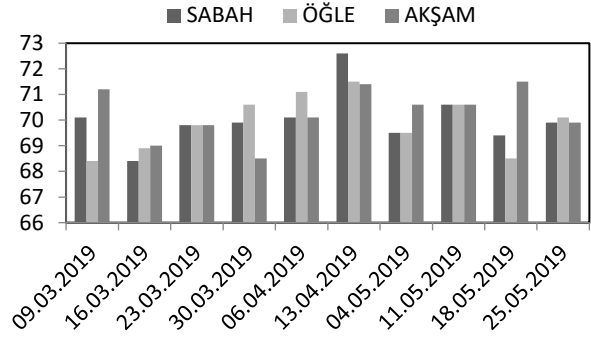
Şekil 2. Ölçüm cihazı

Alınan ölçümler maksimum eşdeğer gürültü düzeyi (Leq_{max}) cinsinden ve A ağırlıklı ses düzeyi (dBA) birimindedir. Gürültü yansımaları engellemek amacıyla bina, duvar, ağaç gibi yapay ve doğal nitelikteki yapıların 1.5 metre kadar uzağında ölçümler yapılmıştır.

Ölçümler aynı nokta ve pozisyonlarda alınarak kaydedilmiştir.

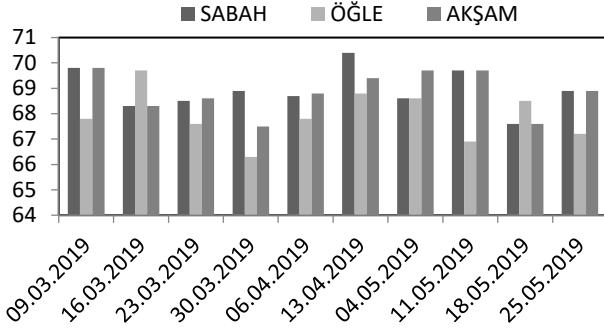
Bulgular ve Tartışma

Birinci ölçüm noktası Görükle Semt Pazarı giriş noktasıdır. Bu noktadaki maksimum değer 72.6 dBA olup, 13.04.2019 tarihinde sabah saatlerinde (08.00-09.00) ölçülmüştür. Ölçülen bu gürültü, sabah saatlerinde pazar ürünlerinin pazar yerine nakli, pazar tezgahlarının kurulup ürünlerin yerleştirilmesi ve erken saatlerde alışveriş yapmak isteyen müşterilerin araç giriş çıkışları ile insan seslerinden kaynaklanmaktadır. ÇGDYY'de mevcut yollarda ticari yapılar ile konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar için verilen sınır değerler gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA'dır. Bu sınır değerlerin birinci noktada yapılan tüm ölçümlerde aşıldığı görülmektedir (Şekil 3).



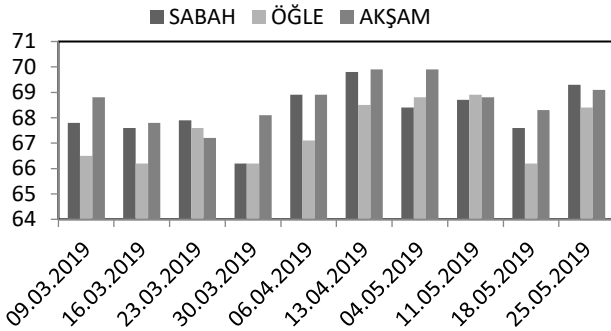
Şekil 3. Birinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

İkinci ölçüm noktası, pazar yeri girişinden bir sonraki nokta olup aynı hizadaki orta noktadır. Bu noktada ölçülen maksimum değer 13.04.2019 tarihinde sabah saatlerinde (08.00-09.00) 70.4 dBA'dır (Şekil 4). Ölçülen bu gürültü değeri, pazarda bulunan insanların seslerinden ve ölçüm noktasının pazar yeri girişine olan yakınlığından kaynaklanmaktadır. Bu nokta girişe yakın olduğu için araç seslerinin de ölçülen gürültüye etkisi olmuştur. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde gündüz ölçümlerinin çoğunun, akşam ölçümlerinin ise tamamının ÇGDYY'de verilen (gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA) sınır değerleri sağlayamadığı belirlenmiştir.



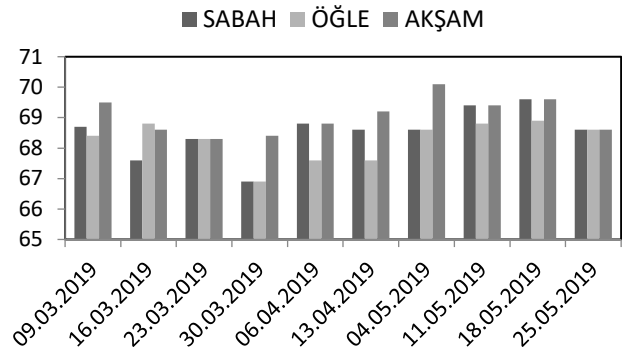
Şekil 4. İkinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Görükle Semt Pazarı içerisindeki üçüncü nokta giriş hizasında köşe noktadır. Bu noktada ölçülen maksimum değer 13.04.2019 ve 04.05.2019 tarihlerinde akşam saatlerinde (17.00-18.00) 69.9 dBA olarak ölçülmüştür (Şekil 5). Ölçülen bu gürültü değeri genel olarak pazarda satış yapan pazarcıların seslerinden kaynaklanmaktadır. Bu nokta pazar yerinin köşe noktası olduğu için gürültünün fazla olmadığı bir nokta olup, ölçülen değerlerin gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA olarak ÇGDYY’de verilen sınır değerlerin akşam vakitlerindeki tüm ölçümler boyunca sağlanmadığı, gündüz vakitlerindeki ölçümlerin çoğunun ise sınır değerinin altında kaldığı belirlenmiştir.



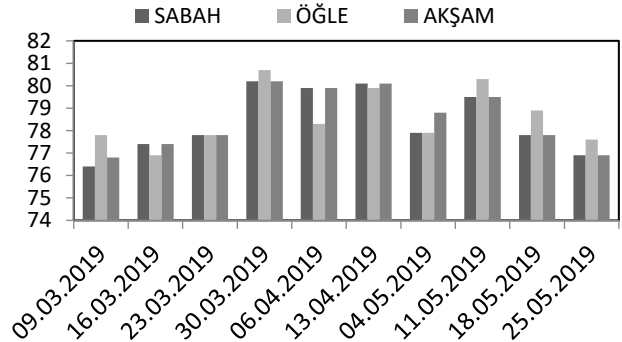
Şekil 5. Üçüncü noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Görükle Semt Pazarı içerisindeki dördüncü nokta pazar yerinin orta kısmı hizasında diğer bir köşe noktasıdır. Bu noktada ölçülen maksimum değer 04.05.2019 tarihinde akşam saatlerinde (17.00-18.00) 70.1 dB(A)’dır (Şekil 6). Şekil 6 incelendiğinde, ÇGDYY’de gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA olarak verilen sınır değerlerin gündüz ölçümlerinin çoğunda, akşam ölçümlerinin ise tamamında aşıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Dördüncü noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

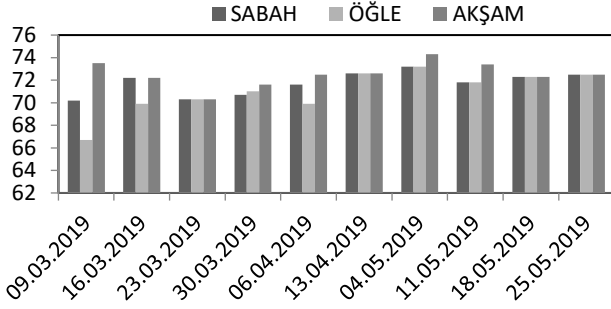
Görükle Semt Pazarı içerisindeki beşinci nokta pazar yerinin tam orta noktasıdır. Pazar yerinde oluşan gürültünün asıl kaynağı alışveriş için gelen insanlar ile satış yapan pazarcılar olduğu için, bu nokta ses yoğunluğunun en fazla görüldüğü noktadır. Bu noktadaki ölçüm sonuçları Şekil 7’de verilmiş olup; ölçülen maksimum değer 30.03.2019 tarihinde öğle saatlerinde (12.00-13.00) 80.7 dBA olarak elde edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA olarak ÇGDYY’de verilen sınır değerlerin yapılan ölçümlerin tamamında aşıldığı görülmektedir.



Şekil 7. Beşinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

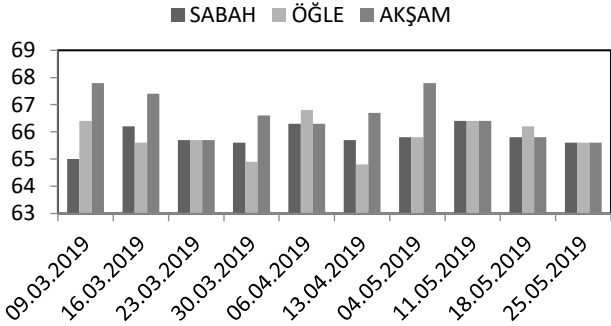
Altıncı ölçüm noktası pazar yerinin orta kısmı hizasında köşe noktasıdır. Bu nokta pazar yerinin orta kısmında bulunduğu için ses yoğunluğunun fazla olduğu gözlemlenmiş olup, ölçülen maksimum değer 04.05.2019 tarihinde akşam saatlerinde 74.3 dBA’dır (Şekil 8). Gündüz 68 dBA olan sınır değerinin sadece 09.03.2019 öğle ölçümünde aşılmadığı, ancak akşam 63 dBA

olarak verilen sınır değerın tüm ölçümlerde aşıldığı görülmektedir.



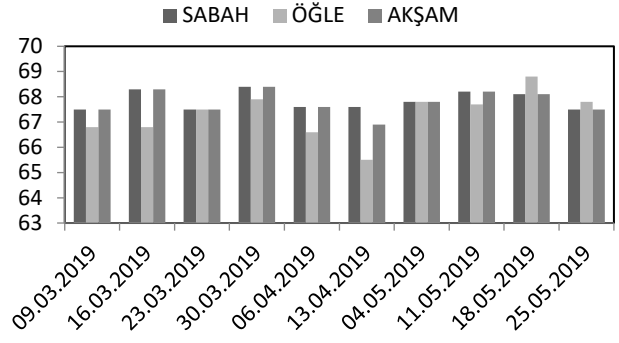
Şekil 8. Altıncı noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Pazar yerinin bitiş kısmında köşe noktada yer alan yedinci ölçüm noktasında ölçülen maksimum değer 09.03.2019 ve 04.05.2019 tarihlerinde akşam saatlerinde 67.8 dBA'dır (Şekil 9). Bu noktadaki gürültünün kaynağı pazar yerinde alışveriş yapan insanların sesleridir. Gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA olan sınır değerlerin gündüz ölçümlerinin tamamında aşılmadığı, akşam ölçümlerinin tamamının ise sınır değerın üstünde olduğu gözlenmiştir.



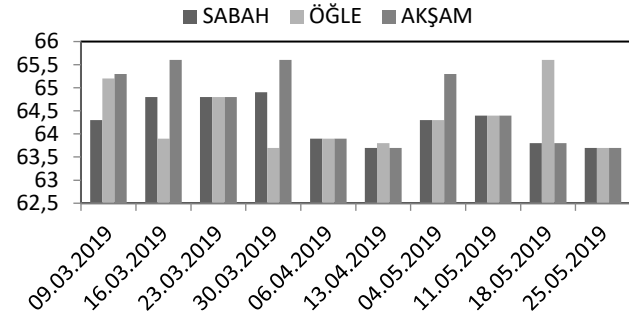
Şekil 9. Yedinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Sekizinci ölçüm noktası pazar yerinin bitiş kısmındaki orta nokta olup, bu noktadaki gürültünün kaynağı pazar yerinde alışveriş yapan insanların sesleridir. Bu noktada ölçülen değerler Şekil 10'da gösterilmiş olup, maksimum değer 18.05.2019 tarihinde öğle saatlerinde 68.8 dBA olarak elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerin ÇGDYY'de gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA olarak verilen sınır değerlerin gündüz vakitlerinin çoğunda sağlandığı, akşam vakitlerinin tamamında sağlanmadığı gözlenmiştir (Şekil 10).



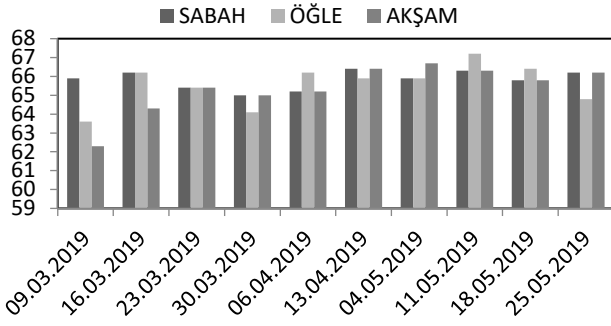
Şekil 10. Sekizinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Dokuzuncu ölçüm noktası pazar yerinin bitiş kısmında yer alan diğer köşe noktadır. Bu noktadaki gürültünün kaynağı pazar yerinde alışveriş yapan insanların sesleridir. Ölçülen maksimum değer öğle saatlerinde 18.05.2019 tarihinde, akşam saatlerinde 16.03.2019 ve 30.03.2019 tarihlerinde 65.6 dBA olarak ölçülmüştür (Şekil 11). Yapılan gündüz ölçümlerinin 68 dBA sınır değerın altında olduğu, akşam ölçümlerinin ise 63 dBA sınır değerının üzerinde seyrettiği gözlenmiştir.



Şekil 11. Dokuzuncu noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

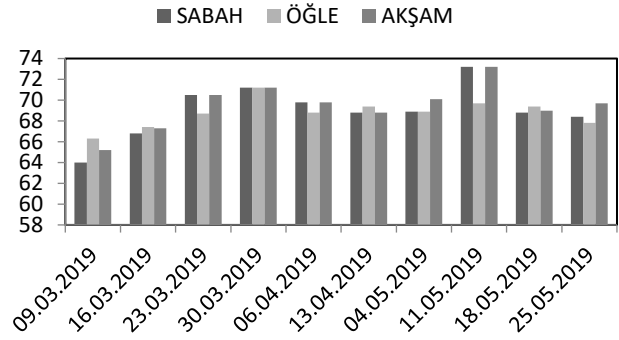
Onuncu nokta Görükle Semt Pazarı'nın arkasında kalan bir apartman dairesinin önüdür. Bu noktanın pazar yerine uzaklığı yaklaşık 12 m'dir. Bu noktada ölçülen maksimum değer 11.05.2019 tarihinde öğle saatlerinde 67.2 dBA'dır (Şekil 12). Bu noktadaki gürültünün kaynağı pazar yerinden gelen sesler ve apartmanın önündeki yoldan geçen araçlardır. Gündüz 68 dBA olan sınır değerın tüm ölçümlerde sağlandığı, akşam 63 dBA olan sınır değerın sadece 9.03.2019 tarihinde aşılmadığı görülmektedir.



Şekil 12. Onuncu noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Onbirinci ölçüm noktası Görükle Semt Pazarı girişi yakınında bulunan Görükle Hidayet Mescidi girişidir. Bu noktanın pazar yerine olan yakınlığı nedeniyle, buradaki gürültü pazara gelen insan seslerinden ve çoğunlukla araç geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Mescid girişinde ölçülen maksimum değer 11.05.2019 tarihinde sabah ve akşam ölçümlerinde 73.2 dBA olarak kaydedilmiştir. Gündüz 68 dBA ve akşam 63 dBA olarak verilen sınır değerlerin gündüz ölçümlerinin çoğunda, akşam ölçümlerinin ise tamamında sağlanamadığı gözlenmiştir (Şekil 13).

Pazaryerinde yapılan gürültü ölçüm sonuçları incelendiğinde, sabah ölçümlerinde en yüksek değer 80.2 dBA ile 5. noktada, en düşük değer ise 59.1 dBA ile 10. noktada ölçüldüğü görülmektedir (Tablo 1). Öğle vakti gerçekleştirilen ölçümler arasında kaydedilen en yüksek değer 5. noktada 80.7 dBA, en düşük değer 10. noktada 59.6 dBA'dır. Akşam ölçümleri arasında en yüksek değer 80.2 dBA ile 5. noktada en düşük değer 58.2 dBA ile 10. noktada alınmıştır.



Şekil 13. Onbirinci noktada ölçülen maksimum gürültü değerleri

Tablo 1. Ölçüm vakitlerine göre minimum ve maksimum değerlerin karşılaştırılması

Ölçüm noktaları	Sabah		Öğle		Akşam	
	max	min	max	min	max	min
1. nokta	72.6	63.8	71.5	63.9	71.5	64.2
2. nokta	70.4	63.3	69.7	63.3	69.7	63.1
3. nokta	69.8	64.5	68.9	62.3	69.9	64.5
4. nokta	69.6	64.3	68.9	64.5	70.1	64.3
5. nokta	80.2	68.1	80.7	68.8	80.2	69
6. nokta	73.2	68.5	73.2	63.3	73.5	67.3
7. nokta	66.4	62	66.8	62	67.8	62
8. nokta	68.4	62.9	68.8	62.1	68.4	63.4
9. nokta	64.9	62.3	65.6	62.2	65.6	62.4
10.nokta	66.4	59.1	67.2	59.6	66.7	58.2
11. nokta	73.2	62.7	71.2	62.2	73.2	62.7
Ortalama	70,464	63,773	70,227	63,11	70,6	63,736

Vakitlere göre oluşan gürültü değerleri karşılaştırıldığında, maksimum gürültü değerleri ortalaması 70.6 dBA ile akşam vaktinde en yüksek; minimum gürültü değerleri ortalaması 63.11 dBA ile öğle vaktinde en düşük olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu çalışmaya benzer olarak, Yerli [29] Düzce kentinde yaya bölgelerinde oluşan gürültü farklarını incelediği çalışmada konutların yoğun olduğu bölge bulunan pazar yerinde birbirine eşit uzaklıktaki 6 noktada 100 m'lik aralıklarla bir yıllık süreç içerisinde gündüz saatlerinde haftalık gürültü ölçümleri yapmıştır. Sonuçlar aylık olarak değerlendirildiğinde en yüksek gürültü ortalamalarının ağustos ayında (70.2 dBA), en düşük gürültü ortalamalarının aralık ayında (55.6 dBA) hesaplandığı; mevsim bazlı değerlendirmede ise en yüksek gürültü ortalamalarının yaz mevsiminde (67.95 dBA), en düşük gürültü ortalamalarının kış mevsiminde (60.35 dBA) meydana geldiği bildirilmiştir.

Sonuç

Gürültü ile mücadele kapsamında ele alınan bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesindeki Görükle'de bulunan bir pazar yeri içinde ve etrafındaki yerleşim yakınlarındaki noktalarda gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde mevcut yollarda ticari yapılar ile konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar için ÇGDYY'de verilen gündüz 68 dBA, akşam 63 dBA [39] değerleri baz alınarak sonuçlar yorumlanmıştır. Sınır değerlerin üstünde kalan ve dolayısıyla gürültü açısından tehlike oluşturabilecek noktalar belirlenmiştir. Yapılan çalışmada ölçüm noktalarının tümünde özellikle akşam vakitlerinde meydana gelen gürültünün olması beklenen değerlerden daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Pazar yerlerinden kaynaklanan gürültünün önlenmesi amacıyla alınabilecek önlemler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Halkın ve pazar esnafının televizyon, internet vb. çeşitli iletişim yayınları ile hazırlanacak afiş veya yazılı broşürlerle gürültü konusunda bilinçlenmesi sağlanarak, bu konuda duyarlılık oluşturulabilir.

- Pazarların kurulu olduğu günlerde trafik sorununu azaltmak amacıyla, trafiğin daha az yoğun olan yollardan akışı sağlanarak (sadece pazarın kurulu olduğu gün) pazar yeri yakınındaki araç trafiği azaltılabilir. Halkın pazar alışverişi sırasında araçların park edilmesinin karayolları kenarında tıkanıklık oluşturmaması amacıyla otopark oluşturulması, otoparkın mevcut fakat yeterli olmaması durumunda belediyelerin park görevi üstlenecek alanlar oluşturarak halkın bu alanlara yönlendirilmesi sağlanabilir (Hafta sonu pazarları için kamu binalarının bahçelerinin tahsis edilmesi v.b.)
- Kurulacak yeni pazar alanları için kentin gürültü haritası çıkarılarak, oluşabilecek gürültünün üzerinde tehlike oluşturabileceği hassas alanlardan uzakta inşa edilmesi sağlanabilir.

Kaynaklar

- [1] Münir Cansın Özden, "Savaş gemilerinin pervane kaynaklı gürültü karakteristiklerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleriyle incelenmesi", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [2] R. Ilgar, "Çanakkale şehir içi trafiğindeki araç kaynaklı gürültü kirliliğine yönelik ön çalışma", ZfWT, vol. 4, no. 1, pp. 253-267, 2012.
- [3] M. Pierrette, C. Marquis-Favre, J. Morel, L. Rioux, M.Vallet, S.Viollon and A. Moch, "Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: a survey and a total annoyance model comparison", J. Env. Psych., vol. 32 no. 2, pp. 178-186, 2012.
- [4] G. Kürklü, G. Görhan and H. Burgan, "Çalışma hayatında gürültünün etkisi ve inşaat teknolojileri eğitimi açısından değerlendirilmesi", Uluslararası Tekn. Bil. Der., cilt 5, sayı 1, s. 35-22, 2013.
- [5] F. Özyonar and İ. Peker, "Sivas kent merkezindeki çevresel gürültü kirliliğinin araştırılması", Ekoloji, cilt 18, sayı 69, s. 75-80, 2008.
- [6] M. Mikaeili and Y. Memlük, "Ekoloji ve çevre açısından kompakt kent kavramı ve uygulama örnekleri", Anadolu Doğa Bil. Der., cilt 4, sayı 2, s. 37-50, 2013.

- [7] N. Akyıldız, Kulak Hastalıkları ve Mikrosirürjisi, Ankara: Ongun Kardeşler Matbaası, s. 587-598, 1980.
- [8] Damla Azkeskin, “Gemi inşaatı sektöründe gürültü ve toz maruziyetinin değerlendirilmesi”, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.
- [9] Yasemin Ongun Funda, “Gürültüye maruziyetin işitme üzerindeki etkilerinin, sigara kullanımı ve kotinin ile ilişkisinin incelenmesi”, Uzmanlık Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Bolu, 2012.
- [10] N.E. Delikanlı, C. Yücedağ and A. Kapdı, “Bartın kentinde araç trafiğinden kaynaklı gürültü kirliliği üzerine bir ön çalışma”, Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, cilt 2, sayı 2, s.21-40, 2014.
- [11] K.T. Gürsel, M. Taner and E. Arslankan, “Gemiler açısından konfor parametrelerinin incelenmesi”, Gemi ve Deniz Tekn., cilt 1, sayı 203, s. 73-80, 2017.
- [12] S. Vehid, E. Erginöz, E. Yurtseven, E. Çetin, S. Köksal and A. Kaymaz, “Hastane ortamı gürültü düzeyi”, TAF Prev Med Bull, cilt 11, sayı 4, s. 409-414, 2011.
- [13] E. Kol, E. İlaslan, S. İnce, “Yoğun bakım ünitelerinde gürültü kaynakları ve gürültü düzeyleri”, J. Turk. Soc. Intensive Care., sayı 13, s 122-128, 2015.
- [14] N.T. Bayazıt, S. Küçükçifçi and B. Şan, “İlköğretim okullarında gürültüden rahatsızlığın alan çalışmalarına bağlı olarak saptanması”, İTÜ Dergisi, cilt 10, sayı 2, s. 169-181, 2011.
- [15] M. Bulunuz, N. Bulunuz and J.K. Tuncal, “Akustik iyileştirme yapılmış bir okulda gürültü düzeyinin değerlendirilmesi”, Eğitimde Kuram ve Uyg., cilt 13, sayı 4, s. 637-658, 2017.
- [16] H. Yıldız, “İşyerlerinde gürültü haritası çıkarma yönteminin uygulanması, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri (bir tel fabrikası örneği)”, Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
- [17] F. Babalık, “İş Yerinde Gürültü ve Sağırlık Olasılığı”, Mühendis ve Makina Der., Sayı 520, s. 1-7, Mayıs 2003.
- [18] F. Ergün, R. Toprak and N. Aktürk, “Açık Ocak Maden İşletmelerinin Neden Olduğu Çevresel Gürültü”, Hacettepe Ün. Çevre Bilimleri, sayı 6, s. 1-9. 2004.
- [19] İbrahim Çınar, “Madencilikte gürültü analizi, modellenmesi ve haritalanması”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005.
- [20] Uğur Aydemir, “Gemi adamlarının gürültü maruziyetlerinin belirlenmesi ve alınabilecek önlemler”, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 2015.
- [21] S. Viola, R. Grammauta, V. Sciacca, G. Bellia, L. Beranzoli, G. Buscaino, et al, “Continuous monitoring of noise levels in the Gulf of Catania (Ionian Sea): Study of correlation with ship traffic”, Marine Poll. Bull., no. 121, pp. 97-103, 2017.
- [22] Erkan Kalıpçı, “Giresun il merkezinde gürültü kirliliği ölçümü ve haritasının hazırlanması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007.
- [23] A.E. Çerçevik, S. Yerel Kandemir, M.Ö. Yaylı and M. Çelik, “Şehir İçinde Temel Çalışması Yapılan Şantiyenin Konutta Oluşturduğu Gürültünün Araştırılması”, Uludağ Ün. Müh. Fak. Der., cilt 24, sayı 1, s.151-160, 2019.
- [24] W. Probst and B. Huber, “The Sound Power Level of Cities”, Sound and Vib., vol. 37, no. 5, pp.14-17, 2003.
- [25] L. Güremen, “Amasya kent merkezi ana arter yollarında trafik gürültüsünün trafik koşul ve standartları yönüyle değerlendirilmesi”, J. of New World Sci. Academy-Eng. Sci., vol. 9, no. 4, pp. 26-47, 2014.
- [26] A.Yetiş, L. Gazigil, R. Yetiş, M. Doğan, M. Yiğit and B. Albayrak, “Determination of environmental noise from traffic: a case study from the rahva region”, 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bursa, 554-564, (2015).
- [27] A.E. Çerçevik, S. Yerel Kandemir, M.Yıldız and M. Çelik, “Bilecik ili şehir içi yollardan kaynaklı gürültü kirliliğinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi”, Afyon Kocatepe Ün. Fen ve Müh. Bil. Der., sayı 18, s. 366-374, 2018.
- [28] Ç.D. Akbulut and S. Önder, “Aksaray kenti açık-yeşil alanlarının nitelik ve nicelik yönünden incelenmesi”, Selçuk Tarım ve Gıda Bil. Der., cilt 25, sayı 1, s. 90-95, 2011.
- [29] Ö. Yerli, “Düzce Kenti Yaya Bölgelerinin Gürültü Farklarının İncelenmesi”, Kastamonu Ün. Orman Fak. Der., cilt 16, sayı 1, s. 225-238, 2016.
- [30] A. Aliğaoglu, “Balıkesir şehrinde haftalık pazarlar: çekicilikler ve sorunlar”, Doğu Coğrafya Der., cilt 17, sayı 27, s. 43-72, 2012.
- [31] V. Çalışkan, “Bursa kent içi semt pazarları üzerine bir değerlendirme: merkez ilçe pazarlarından örnekler”, Ulusal Coğrafya Kongresi, İstanbul, 125-132, (2005).

- [32] M. Yağbasan and A. Canpolat, “İşportacılıkta bağırmanın tüketiciye ulaşmadaki iletişimsel rolü (elazığ ili örneği)”, Atatürk Ün. Sosyal Bil. Ens. Derg., cilt 8, sayı 2, s. 377-392. 2010.
- [33] L.G. Kaya, F. Aslan and B. Yılmaz, “Muğla-Dalyan turizminin özel çevre koruma bölgesi üzerine etkileri”, İnönü Ün. Sanat ve Tasarım Der., cilt 1, sayı 3, s. 255-266, 2011.
- [34] İnternet, URL: http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/09_Cevre.pdf (Erişim zamanı; Nisan, 18, 2020)
- [35] R. Kaplanoğlu, URL: <https://www.bursa.com/wiki/Gorukle> (Erişim zamanı; Nisan, 21, 2020)
- [36] İnternet, URL: <https://www.haberler.com/gorukle-de-pazar-yeri-degisti-haberi/> (Erişim zamanı; Eylül, 16, 2020)
- [37] İnternet, URL: <https://www.google.com/maps/place/G%C3%B6r%C3%BCkle+Pazar%C4%B1/@40.2285684,28.8423936,142m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1zZ8O2csO8a2xIIHBhemFyxLE!3m4!1s0x0:0x88ee02f44bed886!8m2!3d40.2285949!4d28.842502> (Erişim zamanı; Nisan, 27, 2020)
- [38] S. Özer, “Erzurum kent parklarındaki gürültü kirliliğinin belirlenmesi: Aziziye parkı örneğinde”, Adnan Menderes Ün. Ziraat Fak. Der., cilt 11, sayı 2, s. 7-11, 2014.
- [39] İnternet, URL: http://www.cmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=294 (Erişim zamanı; Mayıs, 12, 2020)

Geoteknik Mühendisliğinde Açık Kaynaklı Yazılım Geliştirme Araçlarının Kullanımı: Hidrometre Deneyi Örneği

Use Of Open-Source Software Development Tools In Geotechnical Engineering: Example Of Hydrometer Test

Muhammet Dingil^{1*}, Yakup Türedi², Murat Örnek³

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, ORCID: 0000-0002-8681-478X, muhammetdingil.mfbe19@iste.edu.tr

² İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, ORCID: 0000-0001-9197-5214, yakup.turedi@iste.edu.tr

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, ORCID: 0000-0002-0809-2531, murat.ornek@iste.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 18 Haziran 2020
Düzeltilme: 15 Temmuz 2020
Kabul: 17 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

açık kaynak, geoteknik yazılım, hidrometre deneyi, yazılım geliştirme, internet tabanlı uygulama

ÖZET

Geoteknik mühendisliğinde, araştırma konuları kapsamında başvuru arazi ve laboratuvar deneylerinin çözümlenmesinde, yazılımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Arazi ve laboratuvar deneylerinin çeşitliliği, araştırma ölçeğine göre çok sayıda deney verisinin olabilmemesi ve çözümlenme sonucu bulgulara bağlı olarak bazı görsel öğeler sunma gerekliliği; ticari amaçlı yazılım geliştirme hizmetlerinin ve kapalı kaynak uygulamaların çoğul hale gelmesine neden olmuştur. Bu çalışmada, geoteknik mühendisliğinde zemin endeks özelliklerini tanımlamada kullanılan laboratuvar deneylerinden biri olan hidrometre deneyinin; veri alma, değerlendirme ve çözümlenme süreçleri, birtakım bütünlük açık kaynaklı yazılım geliştirme araçlarında kodlanarak, internet tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Bilimsel yayınlardan derlenen hidrometre deneyi verilerinin sanal çözümlenmesi gerçekleştirilerek, yazılımın hesap doğrulanması sağlanmıştır. Yazılımdaki girdi verileri, akış yolu adımları içerisinde çözümlenerek uluslararası standart esasına uygun çizelgeler ve grafikler olarak, internet tarayıcısı üzerinden kullanıcılara sunulmuştur. Sonuç olarak, mevcut ticari yazılımların yaygınlığına ve erişim yoğunluğuna karşı, açık kaynaklı yazılım geliştirme araçlarının, bu çalışmadan hareketle, geoteknik mühendisliği uygulama geliştirme alanında son derece kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.754582

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 June 2020
Revised: 15 July 2020
Accepted: 17 July 2020

Keywords:

open-source, geotechnical software, hydrometer test, software development, web-based application

ABSTRACT

In geotechnical engineering, the software is widely used in the analysis of in-situ and laboratory experiments used within the scope of research topics. The diversity of the in-situ and laboratory experiments, the availability of a large number of experimental data according to the research scale, and the necessity to present some visual elements depending on the findings as a result of analysis; has led to the plurality of commercial software development services and closed source applications. In this study, a hydrometer experiment, which is one of the laboratory experiments used in defining soil index properties in geotechnical engineering; a web-based application has been developed by coding data acquisition, evaluation, and analysis processes in a number of integrated open-source software development tools. A virtual analysis of hydrometer experiment data compiled from scientific publications was carried out and account verification of the software was provided. The input data in the software are analyzed within the algorithm steps and presented to the users via the internet browser as charts and tables in accordance with the international standard. As a result, it has been concluded that open-source software development tools are highly available in the field of geotechnical engineering application development, based on the prevalence and access density of existing commercial software.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Muhammet DİNGİL

✉ muhammetdingil.mfbe19@iste.edu.tr

Giriş

Geoteknik mühendisliğinde, bir projenin tasarım ve uygulama aşamasında; mukavemet, sıklık, endeks özellik, sınıflandırma gibi çeşitli zemin niceliklerini saptamak amacıyla birçok laboratuvar ve arazi deneyleri gerçekleştirilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde laboratuvar ve arazi deneylerinin sağlıklı bir biçimde sonuçlandırılması için, numune alma ve yerleştirme yöntemi, kullanılan donanımların bakımı, deney yürütücüsü tecrübesi, en elverişli muhafaza koşullarının sağlanması gibi birçok etken bulunurken bu etkenlerden biri de deney verilerinin ilgili standart esasına uygun olarak çözümlenmesidir. Konu olan tasarım veya uygulama çalışmasına bağlı olarak, geoteknik deneylerin çeşitliliği, tekrar sayısı ve yineleme aralığı göz önüne alındığında; deneylerin değerlendirme adım sayısından bağımsız olarak, deney çözümlenmeleri için bilgisayar imkânlarından yararlanmak büyük kazanç sağlamaktadır. Bu nedenle, günümüz şartlarında geoteknik mühendisliğinde, laboratuvar ve arazi deneylerinin veri saklama ve çözümlenme amacıyla çeşitli özel amaçlı ticari yazılımlar ile elektronik çizelge yazılımları birçok kullanıcı tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir. Buna karşın, birçok mühendislik disiplinde, kullanıma sunulmuş ticari yazılımlar ve kapalı paket uygulamalar bulunmasına rağmen, açık kaynak yazılımlara doğru ciddi bir eğilim bulunmaktadır. Açık kaynak yazılımlara yönelimin temel sebebi; geçmiş yıllarda, var olan kod tabanının ihtiyaca göre yinelenip tekrar kullanımının mümkün olması iken son yıllarda, açık kaynak yazılım ürünlerinin birçok geliştiricinin dikkatli incelemesinden geçmiş ve hatalardan arındırılmış olmasının yaygın görüş olmasıdır [1]. Açık kaynak yazılımların; baştan sona uygulama işleyişine müdahale edebilme, herhangi bir ücret ve abonelik gerektirmeme, çok katılımlı geliştirme öykülerine uygun olma, yazılım amacına göre uluslararası ya da yerel sürümler şeklinde genişletilebilme gibi özgür lisans-birlikte geliştirme kapsamına girebilecek birçok öne çıkan özellikleri bulunmaktadır. Buna ek olarak, geoteknik mühendisliğinde açık kaynaklı donanım geliştirmeye yönelik, geçmiş yıllarda yapılmış bazı bilimsel çalışmalar ve

donanım seçenekleri hâlihazırda bulunmaktadır [2],[3]. Bu yüzden, açık kaynak yazılım geliştirme araçlarının da geoteknik mühendisliği çözümlenmelerine yönelik uygulama geliştirme amacıyla kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu çalışmada, geoteknik mühendisliği laboratuvar deneylerinden örnek olarak seçilen hidrometre deneyini, uluslararası standart esasları doğrultusunda çözümlenme amacıyla, tamamen açık kaynak yazılım geliştirme araçları kullanılarak, kullanıcı etkileşimli ve internet tabanlı bir uygulama tasarlanmıştır.

Teori

Hidrometre deneyi, çok küçük boyutlu daneciklerden oluşan zeminlerin (ince daneli), dane boyutunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ve çözümlenme yöntemi Stokes yasasına dayanan bir çöktürme analizidir [4]. Hidrometre deneyinde zemin daneleri; içi su dolu olan bir silindirde, yerçekimi ve zemin örneği kütesinin etkisiyle çökmeye bırakılmaktadır. Hidrometre adı verilen silindirik donanımla, belli zaman dilimlerinde, danelerin çökme mesafesi ve zemin örneği-su karışımının yoğunluğu saptanmaktadır. Stokes ilkesine göre dane çapları Eşitlik 1'de açıklanmaktadır.

$$D = \sqrt{\frac{18}{1} * \frac{n}{\gamma_s - \gamma_w} * \frac{L}{T}} \quad (1)$$

Bu eşitliğe göre:

D = eşdeğer küre çapı, mm

n = suyun akma katsayısı (viskozite), g/cm.sn

γ_s = danelerin birim hacim ağırlığı, g/cm³

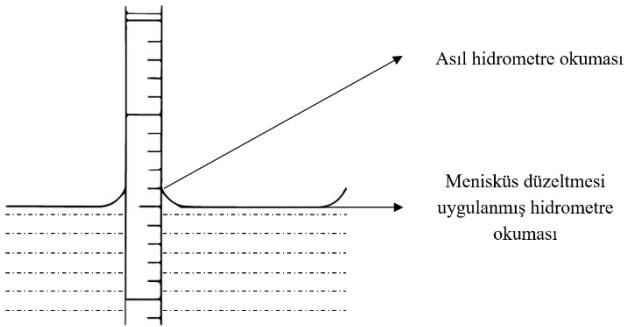
γ_w = suyun birim hacim ağırlığı, g/cm³

L = danelerin çökme mesafesi, cm

T = çökme işleminin başlangıcından itibaren geçen zaman, sn olarak ifade edilmektedir.

Yazılım içerisinde öykülenen hidrometre deneyinde, esas alınan uluslararası standart; ASTM standardı olarak seçilmiştir [5],[6]. ASTM standardına göre, hidrometre donanımı

kullanılarak yapılan çöktürme deneyi; dane boyutları 0.075 mm'den küçük olan siltli ve killi zeminlerin dane çapı dağılımını belirlemek için yararlanılan ölçünlü bir yöntemdir [7]. ASTM standart esasına göre deneyin yürütülmesi için 151H ve 152H olmak üzere iki tip hidrometre tanımlanmıştır. Hidrometre deneyinde, kullanılan silindirik donanım üzerinden okunan asıl hidrometre okuma değerleri üzerinde; menüsküs çizgisi, sıcaklık etkisi ve dağıtma maddesi gibi çeşitli etkenler doğrultusunda okuma düzeltmeleri yapılması gerekmektedir. Suyun hidrometre sapında ve çöktürme silindiri duvarında yüzey gerilim kuvvetlerinden dolayı yukarı yönde bir miktar tırmanarak meydana getirdiği kavise menüsküs adı verilmektedir [4]. Bu nedenle, bahsedilen menüsküs etkisinden kaynaklanan bu kavisten dolayı; suyun düşey yönde kıvrıldığı noktada, yapılacak asıl okumanın suyun üst yüzeyi seviyesinden yapılması son derece önemlidir (Şekil 1).



Şekil 1. Asıl hidrometre okuması ve düzeltilmiş okumanın yapılması [4]

Asıl hidrometre okumasında, uygulanacak düzeltme miktarı ASTM standart esasında yer alan deneysel yöntemlerle gerçekleştirilir [5]. Hidrometre deneyinde 20° C sıcaklıktan farklı olarak ölçülen sıcaklık değerleri ve karşılık gelen hidrometre okumaları bir eksen takımı üzerine aktarılır. Eksen takımında temsil edilen noktalardan oluşan en iyi doğru yani regresyon doğrusu çizilir ve 20° C sıcaklıktan farklı olarak ölçülen sıcaklıklar için en uygun düzeltme okumaları elde edilmiş olur. Asıl hidrometre okumalarına menüsküs çizgisi düzeltmesi eklenir, sıcaklık ve dağıtma maddesi nedenli düzeltmeler ise çıkarılır ve nihayetinde kalan yalın değerler, düzeltilmiş hidrometre okumaları

olarak adlandırılır. Hidrometre deneyinde, asıl hidrometre okumaları üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, deneyin en önemli çözümlenme adımı; dane çaplarının hesaplanmasıdır. Dane çapının hesaplanma yöntemi, Eşitlik 2'de yer alan denklemlerle açıklanmaktadır.

$$D = K * \sqrt{\frac{L}{T}} \quad (2)$$

Bu eşitliğe göre:

D = dane çapı, mm

K = zemin örneğinin özgül ağırlığına ve karışımın sıcaklığına bağlı olarak değişen bir katsayı

L = etkin derinlik, cm

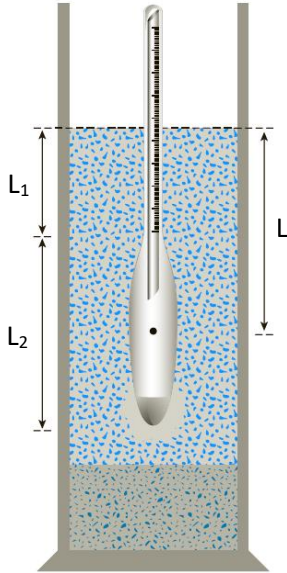
T = deneyin başından hidrometre okuması yapılan ana dek geçen süre, dk olarak ifade edilmektedir [6].

Eşitlik 2'de yer alan K değeri, hidrometre deneyi uygulanan zemin örneği karışımının sıcaklığına ve zemine ait boyutsuz özgül ağırlığa göre tespit edilen bir sabit katsayıdır. K katsayı değerleri, ASTM standart esasında sıcaklık ve özgül ağırlığa bağlı olarak hazırlanmış çizelgeler üzerinden okunabilmektedir [6]. Bu standart içerisinde yer alan bazı K katsayı çarpanlarından bir kısmı Çizelge 1'de verilmiştir. Etkin derinlik (L); hidrometrenin zemin örneği karışımının içerisine daldırılmadan önce, karışımın üst seviyesi ile hidrometre ağırlık merkezi arasında kalan düşey mesafe olarak adlandırılmaktadır [4]. Hidrometre deneyinde, deney öncesinde gerçekleştirilecek bir ölçümlenme yoluyla etkin derinlik sınır koşulları hesaplanmalıdır. Ölçümlenme işlemi ve bağıl olarak hesaplanan etkin derinlik değeri; deneyde yararlanılan çöktürme silindirin ve hidrometreye bağlı değerlerdir. Bu nedenle etkin derinliğin tespit edilebilmesi için, kullanılan hidrometre tipine

Çizelge 1. Bazı sıcaklık ve özgül ağırlık değerlerine karşılık gelen bazı K sabit katsayıları [6]

Sıcaklık	Zemin danelerine ait özgül ağırlık				
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65
16	0.001530	0.001505	0.001481	0.001457	0.001435
17	0.001511	0.001486	0.001462	0.001439	0.001417
18	0.001492	0.001467	0.001443	0.001421	0.001399
19	0.001474	0.001449	0.001425	0.001403	0.001382
20	0.001456	0.001431	0.001408	0.001386	0.001365
21	0.001438	0.001414	0.001391	0.001369	0.001348
22	0.001421	0.001397	0.001374	0.001353	0.001332
23	0.001404	0.001381	0.001358	0.001337	0.001317
24	0.001388	0.001365	0.001342	0.001321	0.001301
25	0.001372	0.001349	0.001327	0.001306	0.001286
26	0.001357	0.001334	0.001312	0.001291	0.001272
27	0.001342	0.001319	0.001297	0.001277	0.001258
28	0.001327	0.001304	0.001283	0.001264	0.001244
29	0.001312	0.001290	0.001269	0.001249	0.001230
30	0.001298	0.001276	0.001256	0.001236	0.001217

göre, silindir enkesit alanı, hidrometre gövde uzunluğu, hidrometre hacmi dâhil olmak üzere bazı gerekli uzaklıklar ve boyutlar bilinmelidir (Şekil 2).

**Şekil 2.** Hidrometre deneyi için L etkin derinliğin tanımlanması [8]

Etkin derinlik değeri, Şekil 2’de yer alan kaynak ölçülere ve hidrometre tipine göre Eşitlik 3’te açıklanmaktadır.

$$L = L_1 + \frac{1}{2} x \left(L_2 - \frac{V_B}{A} \right) \quad (3)$$

Bu eşitliğe göre:

L = etkin derinlik, cm

L_1 = hidrometre okuması ile hidrometrenin boyun kısmı arasında kalan uzaklık, cm

L_2 = hidrometre gövdesinin uzunluğu, cm

V_B = hidrometrenin hacmi, cm^3

A = çöktürme silindirinin en kesit alanı, cm^2 olarak ifade edilmektedir.

ASTM standart hidrometre tipleri olan 151H ve 152H için V_B , A ve L_2 değerleri ortak iken, her iki hidrometre tipine ait L_1 değerinin hesaplanabilmesi için ASTM standardı içerisinde ilk ve son ölçümler verilmiştir [6]. Çizelge 2’de yer alan standart hidrometre ölçüleri göz önüne alındığında; bir hidrometreye ait etkin derinliğin saptanabilmesi için Eşitlik 3’te yer alan değişkenlerin bilinen değerleri, Çizelge 2’den temin edilmektedir. L_1 değişkenine bağlı olan L etkin derinlik ise Eşitlik 4’te açıklanmaktadır.

Çizelge 2. ASTM hidrometre tiplerine göre standart hidrometre ölçüleri ve okuma-ölçüm değerleri [6]

Değerler	ASTM 151H	ASTM 152H
L_1 ilk / R_{ilk}	10.5 cm / 1.000	10.5 cm / 0 g/litre
L_1 son / R_{son}	2.3 cm / 1.031	2.3 cm / 50 g/litre
A	27.8 cm ³	27.8 cm ³
V_B	67.0 cm ³	67.0 cm ³
L_2	14.0 cm	14.0 cm

$$L = L_1 + 5.795 \quad (4)$$

$$L = L_{ilk} - (\Delta L * R) + 5.795 \quad (6)$$

Çizelge 2’de yer alan her bir hidrometre tipi için L_{ilk} ve L_{son} kullanılarak, R_{ilk} ve R_{son} hidrometre okumalarına göre etkin derinlik değeri, ardından da birim okuma için etkin derinlik değişimi belirlenebilmektedir. Bir hidrometre tipi için bilinen ilk ve son L_1 ve R okumalarına göre birim okumada etkin derinlik değişimi Eşitlik 5’te verilmektedir.

$$\Delta L = \frac{L_{son} - L_{ilk}}{R_{son} - R_{ilk}} \quad (5)$$

Bu eşitliğe göre:

ΔL = birim hidrometre okumasında yaşanan etkin derinlik değişimi, cm

L_{ilk} = ilk hidrometre okumasında hesaplanan etkin derinlik, cm

L_{son} = son hidrometre okumasında hesaplanan etkin derinlik, cm

R_{ilk} = ilk yapılan hidrometre okuması

R_{son} = son yapılan hidrometre okuması olarak ifade edilmektedir.

Hidrometre okumasına bağlı etkin derinlik değerleri için; öncelikle Çizelge 2’de yer alan L_1 okuma değerlerinin Eşitlik 4 içerisinde yerine konmasıyla 151H ve 152H tipi hidrometreler için L_{ilk} ve L_{son} değerleri bulunması; ardından Eşitlik 5’te yer alan birim okumada görülen etkin derinlik değişimi değeri olan ΔL ’nin bulunması gerekmektedir (Eşitlik 6).

Buna göre, ilk ve son hidrometre okumasındaki etkin derinlik (L_1 ilk ve L_1 son) değerleri bilinen bir hidrometre için; bir hidrometre okumasına ait (R) aranan etkin derinlik değeri (L), ΔL değerine bağlı olarak Eşitlik 6’ya göre hesaplanabilmektedir. ASTM D422-63 [6] standart esasında, 151H ve 152H tipi hidrometreler için; değişen hidrometre okumalarına göre etkin derinlik değerleri, çizelgeler haline getirilerek verilmiştir. Hidrometre deneyinin sonuçlandırılmasında son aşama olan toplam geçen yüzde oranlarının saptanması Eşitlik 7’de sunulmuştur.

$$\% P = \frac{G_s}{M \times (G_s - 1)} \times 1000 \times P_{200} \times (R_h - 1) \quad (7)$$

Bu eşitliğe göre:

$\%P$ = geçen yüzde, (%)

G_s = zemin örneğine ait özgül ağırlık

M = zemin örneğinin kuru ağırlığı, g

R_h = düzeltme uygulanmış hidrometre okuması

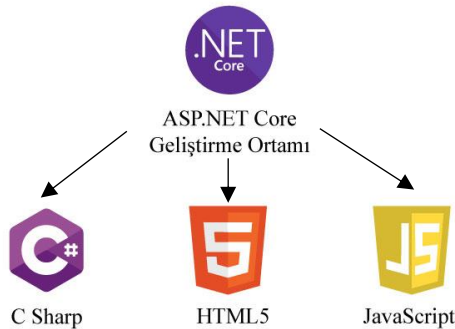
P_{200} = No.200 elekten toplam geçen yüzde, (%) [elek analizi deneyinden temin edilir] olarak ifade edilmektedir.

Bu matematiksel hesaplamalar her bir hidrometre okuması için adım adım gerçekleştirilir ve işlemler neticesinde her hidrometre okumasına karşılık geçen yüzde değerleri hesaplanır. Hidrometre deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra, hidrometre deney sonuçları i) asıl hidrometre okumalarının düzeltilmesi, ii) dane çaplarının hesaplanması, iii) toplam geçen

malzeme yüzdelerinin hesaplanması adımları takip edilerek çözümlenir.

Yöntem

Hidrometre deneyinin bilgisayar ortamında kodlanmasında ve açık kaynak yazılım geliştirme araçlarının seçilmesinde, öncül etken olarak kullanıcı ile erişebilirliğin artırılması amacı gözetilmiştir. Yazılım geliştirmede; bilgisayar ve akıllı cihazların işletim sistemlerinden bağımsız bir şekilde erişebilirlik için çapraz platform teknolojilerinin ve internet tabanlı geliştirme araçlarının kullanımı büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle modern yazılım dillerinin ve buna bağlı geliştirme araçlarının kullanımı; tekiliğe bağımlılığı azaltmak amacıyla, açık kaynak biçimde tasarım ve yönetime son derece uygundur [9]. Bu çalışmada, uygulama geliştirme platformu olarak ASP.NET Core [10], sayısal hesaplama kütüphanesi olarak Math.NET [11], basamaklı biçim şablonu olarak W3.CSS [12], taşınabilir belge biçiminde çıktı sunma amacıyla jsPDF [13] açık kaynak yazılım geliştirme araçları kullanılmıştır. ASP.NET Core platformu, 2016 yılında Microsoft .NET teknolojisinin oluşturduğu web altyapısında önemli bir ürün olarak ortaya sürülmüştür [14]. Burada kullanılan tüm uygulama geliştirme araçlarında, mantıksal ve yönetsel işlemlerde C# nesne yönelimli yazılım dili, görsel uygulama tasarımında HTML ve JavaScript işleme dilleri; sanal ortamdaki öge kodlamalarında kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Kullanılan açık kaynak yazılım geliştirme ortamı ile yazılım dilleri

Zemin örneği fiziksel bilgileri ile hidrometre ortamına ve donanımına özgü bilgiler; yazılım içerisinde Eşitlik 2’de yer alan L ve K değerlerini hesaplayabilmek için kullanılmaktadır. Eşitlik 2’de L ve K değerleri hesaplandıktan sonra T değerine karşılık; Kod 1’de verilen yanıt döndüren yöntem kullanılarak yazılımda çözümlenmeler tamamlanmaktadır.

```

public HidrometreVeriSonuc HidrometreBitir(
int No, double Gs, double P, double M, double
AsilOkuma, double Sicak, double Zaman,
double ta, double tb, double la, double lb, double
Meniskus)
{
var gonder = new HidrometreVeriSonuc()
{
OkumaNo = No,
GecenZaman = Zaman,
AsilHidrometreOkumasi = AsilOkuma,
Sicaklik = Sicak,
MeniskusUygulanmisHidrometreOkumasi
= Math.Round(AsilOkuma +
Meniskus, 5),
SicaklikDagitmaMaddesiDuzeltmesi =
Math.Round((((Sicak) - tb) / ta) -
1, 4),
L_EtkinDerinlik = Math.Round((la *
(AsilOkuma + Meniskus)) + lb, 2),

R_TamamenDuzeltilmisHidrometreOkumasi =
Math.Round(AsilOkuma +
Meniskus - (((Sicak) - tb) / ta) -
1), 4),
K_Degeri = Math.Round(K_ASTM(Sicak,
Gs), 5),
D_TaneCapi =
Math.Round(K_ASTM(Sicak, Gs) * Math.Sqrt(((la *
(AsilOkuma + Meniskus)) + lb) /
Zaman), 4),
P_ToplamGecenYuzde = Math.Round((Gs
* P * 1000 * (AsilOkuma +
Meniskus - (((Sicak) - tb) / ta) -
1) - 1)) / (M * (Gs - 1)), 2)
});

return gonder;
}
  
```

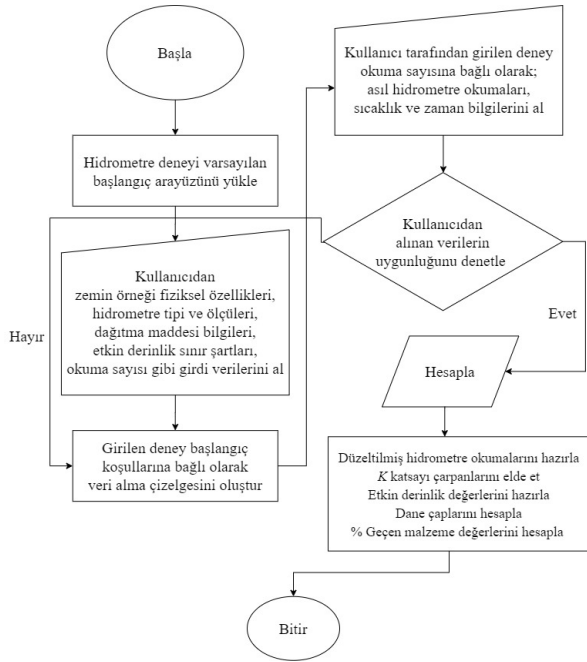
Kod 1. Hidrometre deneyi nihai çözümleme aşamasında veri döndüren kod metodu

Yazılımdaki hidrometre deneyi arayüzünde, kullanıcıdan; deneyde kullanılan zemin örneğinin fiziksel özellikleri, hidrometre tipi, dağıtma maddesi bilgisi, okuma düzeltmeleri, etkin derinlik sınır şartları, sıcaklık gibi nicel girdiler çeşitli deney adımlarında talep edilmektedir (Çizelge 3).

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Yazılım içerisinde kullanıcıdan talep edilen girdi veriler

Kullanıcıdan Deneye Özgü Talep Edilen Veriler		
Zemin örneği özgül ağırlığı	Kuru zemin örneği ağırlığı	
Hidrometre tipi	Menüsküs düzeltme katsayısı (varsayılan)	
No.200 elekten geçen toplam yüzde değeri	Hidrometre ölçüleri (isteğe bağlı)	
Dağıtma maddesi örneği (isteğe bağlı)	Etkin derinlik okumaları (isteğe bağlı)	
Kullanıcıdan Deney Okuma Sayısına Göre Talep Edilen Veriler		
Asıl hidrometre okuması	Gecen zaman	Sıcaklık

Hidrometre deneyindeki matematiksel hesaplama adımları; nesne yönelimli yazılım dilleriyle, bir akış yolu işleyişi içerisinde, kullanıcı denetimli veri döndüren metotlara çevrilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Geliştirilen internet tabanlı uygulamanın akış yolu işleyişi

Şekil 4'te gösterilen akış yolu işleyişine göre; son kullanıcı tarafından, deney başlangıcında girilen etkin derinlik okumaları ile özel hidrometre ölçülerine göre ya da yazılımda yer alan uluslararası standart hidrometre tip özelliklerine göre sunulmuş; etkin derinlik-okuma çizelgesi ile sıcaklık-okuma doğrusu yer almaktadır. Son kullanıcının, deney okuma sayısına göre talep

edilen asıl hidrometre okuması, zaman ve sıcaklık değerlerini girmesiyle birlikte derlenen tüm veriler, yazılım arayüzünde hesap sonuç aşamasında çözümlenir. Çözümleme sonucu, sıcaklık-dağıtma maddesi ve menüsküs düzeltme değerleri, düzeltilmiş hidrometre okumaları, dane çapları, K katsayı değerleri ve toplam geçen malzeme yüzde değerleri; bir veri sonuç çizelgesi içerisinde kullanıcıya sunulmaktadır.

Tasarım ve Bulgular

Yapısal ve görsel mimarinin tamamlanmasıyla, yazılımdaki denetleme ve paketleme aşamaları; yine açık kaynaklı olarak paylaşılan Visual Studio Code derleyicisi üzerinden sürdürülmüştür. Tüm tasarım adımlarının sonucunda, tamamen açık kaynak yazılım gereçleriyle geliştirilen nihai uygulama; derleyiciden bağımsız olarak örnek bir tarayıcı üzerinden çalıştırılmıştır. Buna göre; hidrometre deneyi için hidrometre donanım ölçülerine ve deney yapılan zemin örneğine ait öncül bilgilerin alındığı yazılım başlangıç arayüzü EK A'da sunulmuştur. Başlangıç bölümünde girilen öncül verilere göre; sıcaklık düzeltmesinde kullanılmak üzere çizilen sıcaklık-okuma en iyi (optimum) doğrusu ile girilen okuma sayısına göre okuma-sıcaklık-süre veri alma çizelgesini içeren yazılım veri alma arayüzü EK B'de verilmiştir. Son olarak, tüm deney ortamı bilgilerine ve veri alma çizelgesinde işlenen girdilere göre; yazılımda gerçekleştirilen çözümleme sonuçları ile ince malzemenin dane çapı dağılımı eğrisi EK C'de yer almaktadır. Çizelge 4 ve Çizelge 5'te yazılım

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında gerçekleştirilen doğrulama sonuçları

Doğrulama (I) P, Geçen Yüzde (%)			Doğrulama (II) P, Geçen Yüzde (%)			Doğrulama (I) D, Dane Çapı (mm)			Doğrulama (II) D, Dane Çapı (mm)		
Yazılım	Orhan vd., [4]	Fark (%)	Yazılım	Yılmaz vd., [15]	Fark (%)	Yazılım	Orhan vd., [4]	Fark (%)	Yazılım	Yılmaz vd., [15]	Fark (%)
65.04	64.96	0.12	80.27	80.60	0.41	0.0395	0.0398	0.75	0.0583	0.0582	0.17
62.03	61.95	0.13	77.03	77.35	0.41	0.0283	0.0285	0.70	0.0418	0.0419	0.24
58.75	58.64	0.19	73.77	74.10	0.45	0.0183	0.0184	0.54	0.0300	0.0301	0.33
56.34	56.24	0.18	72.15	72.48	0.46	0.0130	0.0131	0.76	0.0247	0.0247	0.00
53.98	53.83	0.28	70.53	70.85	0.45	0.0109	0.0109	0.00	0.0152	0.0152	0.00
51.58	51.43	0.29	68.90	69.23	0.48	0.0078	0.0078	0.00	0.0112	0.0112	0.00
46.21	46.31	0.22	65.65	65.98	0.50	0.0057	0.0057	0.00	0.0080	0.0080	0.00
41.78	41.80	0.05	63.05	63.38	0.52	0.0041	0.0042	2.38	0.0057	0.0057	0.00
37.87	37.89	0.05	59.80	60.13	0.55	0.0028	0.0029	3.45	0.0041	0.0041	0.00
33.63	33.68	0.15	55.57	55.90	0.59	0.0019	0.0019	0.00	0.0029	0.0029	0.00
30.02	30.07	0.17	52.33	52.65	0.61	0.0012	0.0012	0.00	0.0021	0.0021	0.00

Çizelge 5. Yazılımdan elde edilen deney çözüm sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Açıklama	Hata Oranı	Doğrulama (I)		Doğrulama (II)	
		P, Geçen Yüzde (%) Değeri için Sonuçlar	D, Dane Çapı (mm) Değeri için Sonuçlar	P, Geçen Yüzde (%) Değeri için Sonuçlar	D, Dane Çapı (mm) Değeri için Sonuçlar
Ortalama Mutlak Hata	MAE	0.08273	0.00008	0.32750	0.00002
Ortalama Karesel Hata	MSE	0.00870	0.00000	0.10727	0.00000
Kök Ortalama Karesel Hata	RMSE	0.09327	0.00012	0.32753	0.00005
Ortalama Mutlak Yüzde Hata	MAPE	0.16539	0.78105	0.51124	0.06189
Açıklayıcılık Katsayısı	R ²	0.999974	0.999984	1.000000	0.999992

çözümleme sonuçları; literatürden seçilen birtakım deney verileri ile doğrulama yapmak amacıyla test edilmiştir. Seçilen bilimsel yazınlarda, ortaya konulan deney sonuç bulguları ile geliştirilen uygulamada, aynı verilerin çözümleme sonuçları, nicel olarak kıyaslanmıştır. İstatistiksel veri kıyaslamasında, literatürde yer alan ve hata-yakınsama ölçümlerinde kullanılan R², MAE, MSE, RMSE, MAPE nicel değerlendirme ölçütleri tercih edilmiştir [16], [17]. Bu kıyaslama neticesinde elde edilen istatistiksel sonuçlara göre; açıklayıcılık katsayısının 0.99-1.00 arasında kalarak 1'e çok yakın olması, çeşitli istatistiksel hata ölçümleme değerlerinin ekseriyetle 0'a yakın olması nedeniyle yazılım çözümlemesinin başarılı

olduğu görülmektedir. Yazılım çözümlemesi ile literatürde yer alan deney sonuçları arasındaki nicel tutarlılığın oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, hidrometre deneyi için; açık kaynak yazılım geliştirme araçlarıyla kodlanmış kullanıcı etkileşimli ve internet tabanlı bir uygulama oluşturulmuştur. Bu uygulama sonucunda elde edilen kazanımlar ve sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Yazılım akış yolu içerisinde deney standartlarına bağlı olarak; deney veri sonuç çizelgesini, deney şartlarına göre düzeltilmiş

hidrometre okumalarını, hidrometre tipine ait etkin derinlik ve düzeltme katsayısı değerlerini, yarı logaritmik ölçekli dane çapı dağılımı eğrisini; taşınabilir belge biçiminde çıktı olarak sunabilen bir uygulama elde edilmiştir.

- Yazılım girdi parametreleri olarak; zemin örneğinin fiziksel özellikleri, hidrometre tipi, dağıtma maddesi bilgisi, okuma düzeltmeleri, etkin derinlik sınır şartları gibi deneye ortamına özgü başlangıç koşul verileri ile deney tekrar sayısı kadar, asıl hidrometre okuması-sıcaklık-zaman deney verileri kullanılmaktadır.

- Literatürden yer alan bazı deney sonuçları ile yazılım çözümlene sonuçları; istatistiksel değerlendirme ölçütler yoluyla kıyaslandığında, açıklayıcılık katsayısının 1'e yakın, çeşitli istatistiksel hata ölçümlene değerlerinin ise 0'a yakın olduğu ve yazılım çözümlene performansının başarılı olduğu görülmektedir.

- Geliştirilen bu yazılımın kodlama, hesaplama, çıktı alma ve son kullanıcıya erişime sunulma adımlarının tamamı; açık kaynak geliştirme araçlarından seçilen bileşenler yoluyla tasarlanmıştır.

- Bu çalışma sonucunda, erişilebilirlik, özel amaçlı tasarım ve özgür lisanslama imkânı sağlayan açık kaynak yazılım geliştirme platformlarının, geoteknik mühendisliğinde içerisinde de kullanılabileceği görülmektedir. Bu tür çalışmalarla, geoteknik çözümlenelerde kullanılan ticari yazılımlara ve kapalı paket uygulamalara bir alternatif oluşacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, N. (2017). Açık Kaynak Yazılımlarda Bakım Yapılabilirliği ve Güvenilirliği Ölçmek İçin İki Boyutlu Değerlendirme Metodu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Temmuz 2017.
- [2] Dipova, N. (2017). Açık Kaynaklı Geliştirme Platformlarının Geoteknik Laboratuvarı Çözümlerinde Kullanımı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8 (2) , 153-160.
- [3] Eichhorn, G., Bowman, A., Haigh, S., Stanier, S. (2020). Low-cost digital image correlation and strain

measurement for geotechnical applications. Strain. 10.1111/str.12348.

- [4] Orhan, M., Özer, M., Işık, S. N. (2004), "Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri Cilt I (İndeks ve Sınıflama Deneyleri)", Gazi Kitabevi.
- [5] ASTM E100-15a (2015), Standard Specification for ASTM Hydrometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.
- [6] ASTM D422-63 (2007), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org.
- [7] S. Kakuturu, M. Xiao, and M. Kinzel, (2018), "Effects of Maximum Particle Size on the Results of Hydrometer Tests on Soils," Geotechnical Testing Journal 42, no. 4 2018: 945-965. <https://doi.org/10.1520/GTJ20170236>
- [8] Das, B. M., Sobhan, K. (2017), "Principles of Geotechnical Engineering", 9th Edition, Cengage Learning.
- [9] Engel, P., Schweimler, B.. (2016), Development Of An Open-Source Automatic Deformation Monitoring System For Geodetical And Geotechnical Measurements. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-5/W8. 25-30.
- [10] MathNet.Numerics (2020), github repository: mathnet / mathnet-numerics. Erişim: [18.06.2020]
- [11] ASP.NET Core (2020), github repository: dotnet/aspnetcore. Erişim: [18.06.2020]
- [12] W3.CSS (2020), W3.CSS Framework. W3Schools. Link: <https://www.w3schools.com/w3css/default.asp> Erişim: [18.06.2020]
- [13] jsPDF (2020), github repository: MrRio/jsPDF. Erişim: [18.06.2020]
- [14] Chiaretta, S. (2018), Front-end development with Asp.Net Core, Angular, and Bootstrap. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Yılmaz, I. & Yıldırım, M. & Keskin, İ. (2016), "Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler", Seçkin Yayıncılık.
- [16] Singh, P. & Kumar, D. & Samui, P. (2020). Reliability Analysis of Rock Slope Using Soft Computing Techniques. Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 14, No. 1, 2020.
- [17] Prayudani, S., Hizriadi, A., Lase, Y. Y., Fatmi, Y., & Al-Khowarizmi. (2019). Analysis Accuracy Of Forecasting Measurement Technique On Random K-Nearest Neighbor (RKNN) Using MAPE And MSE. Journal of Physics: Conference Series, 1361, 012089.

EK A

Hidrometre deneyi yazılım arayüzünde; deneye ait başlangıç koşullarının, donanım ölçülerinin ve yapılacak okuma sayısının girdi bölümleri

Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri

Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s :	2.66
Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (g) :	40
No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P ₂₀₀ (%) :	63

Deney Aleti ve Çözelti Malzemesinin Belirlenmesi

Dağıtma Maddesi (Çözelti):	130 mL NaPO ₃
Hidrometre Tipi:	ASTM 151 H

Menisküs Düzeltmesinin Belirlenmesi

Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri: 0.0008

Sıcaklık ve Dağıtma Maddesi Düzeltmesinin Belirlenmesi

Varsayılan Doğrusal Regresyon Determinasyon Katsayısı, R² : 0.99739

Varsayılan Kalibrasyonda Kullanılan Sıcaklık-Yoğunluk Okuma Değerleri	
Sıcaklık (C°)	Hidrometre Okuması
17.5	1.0046
19	1.0043
20	1.004
25.5	1.0031
28	1.0026
31	1.0021

Not: Bu Okumalardan R² Belirlenmiştir ve Bir Düzeltme Regresyon Doğrusu Oluşturulacaktır

Özel Bir Kalibrasyon Kullanmak için İşaretleyin

Özel Bir Kalibrasyon Kullanmak için Okuma Sayısı Girin: 9

Etkin Derinliğin Belirlenmesi

Etkin Derinlik - Kullanılan Hidrometre Tipi : ASTM 151 H

L₂ : 14 A : 27.8 Vb : 67

Okuma : 1 L₁ : 10.5

Okuma : 1.031 L₁ : 2.3

Hidrometre Deneyi Okuma Sayısının Belirlenmesi

Hidrometre Deneyi Okuma Sayısı : 1

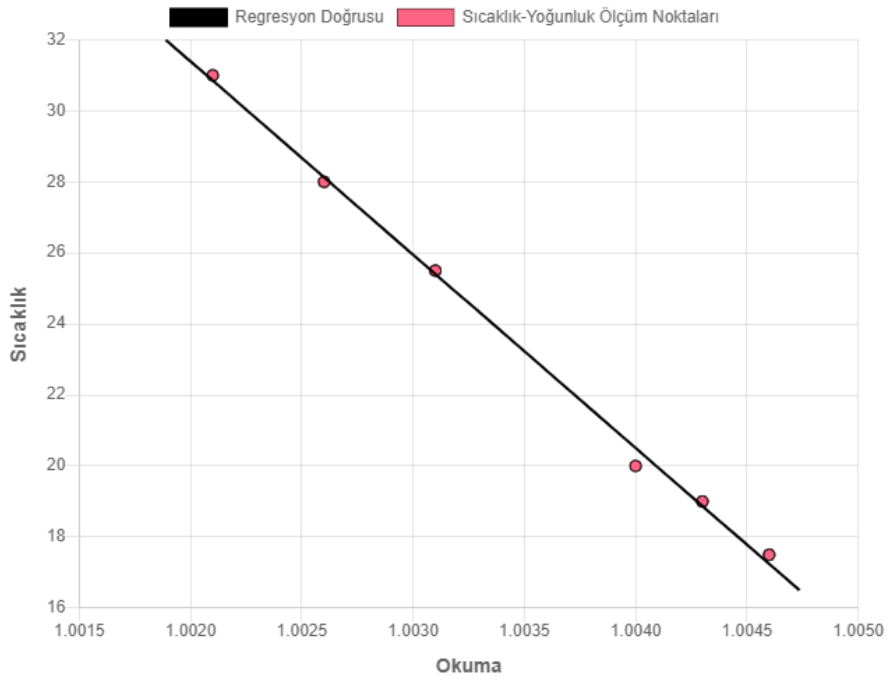
Veri Alma Çizelgesini Oluştur

EK B

Hidrometre deneyi yazılım arayüzünde, okuma sayısına göre oluşturulan veri alma çizelgesi örneği ile sıcaklık kaynaklı hidrometre okuma düzeltmesi için çizilen en iyi doğru (regresyon)

Hidrometre Deneyi - Veri Alma Çizelgesi			
Deney Ortamı Öğelerinin Belirlenmesi			
Dağıtma Maddesi (Çözeltili):		Hidrometre Tipi:	
130 mL NaPO ₃		ASTM 151 H	
Hidrometre Okumalarının Düzeltilmesi			
Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri		Sıcaklık-Dağıtma Maddesi Düzeltmesi Determinasyon Katsayısı, R ²	
0.0008		0.99739	
Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri			
Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s	Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (g)	No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P200 (%)	
2.65	40	63	
Hidrometre Deneyi: Okuma-Sıcaklık-Zaman Veri Alım Çizelgesi			
Okuma Sayısı	Geçen Zaman (dk)	Sıcaklık (C°)	Asıl Hidrometre Okuması
1	1	25	1.024
2	2	25	1.023
3	5	24.5	1.022
4	10	24.5	1.0212
5	15	23.5	1.0206
6	30	23.5	1.0198
7	60	22.5	1.0182
8	120	21	1.017
9	260	21	1.0157
10	580	21.5	1.0142
11	1550	21.5	1.013

HESAPLA



EK C

Yazılım içerisinde gerçekleştirilen çözümü elde edilen hesap sonuç çizelgesi ile hidrometre deneyi dane çapı dağılımı eğrisi

Hidrometre Deney Sonuçları										
Okuma Sayısı	Geçen Zaman (dk)	Sıcaklık (C°)	Asıl Hidrometre Okuması	Menisküs Düzeltmesi Uygulanmış Hidrometre Okuması	Sıcaklık- Dağıtma Maddesi Düzeltmesi	Düzeltilmeleri Tamamlanmış Nihai Hidrometre Okumaları, Rh	Etkin Derinlik, L (cm)	K Değeri	Dane Çapı, D (mm)	Toplam Geçen, P (%)
1	1	25	1.024	1.0248	0.0032	1.0216	9.73	0.01282	0.04	54.58
2	2	25	1.023	1.0238	0.0032	1.0206	10	0.01282	0.0287	52.05
3	5	24.5	1.022	1.0228	0.0033	1.0195	10.26	0.0129	0.0185	49.3
4	10	24.5	1.0212	1.022	0.0033	1.0187	10.48	0.0129	0.0132	47.28
5	15	23.5	1.0206	1.0214	0.0034	1.018	10.63	0.01305	0.011	45.3
6	30	23.5	1.0198	1.0206	0.0034	1.0172	10.85	0.01305	0.0078	43.28
7	60	22.5	1.0182	1.019	0.0036	1.0154	11.27	0.0132	0.0057	38.78
8	120	21	1.017	1.0178	0.0039	1.0139	11.59	0.01344	0.0042	35.06
9	260	21	1.0157	1.0165	0.0039	1.0126	11.93	0.01344	0.0029	31.78
10	580	21.5	1.0142	1.015	0.0038	1.0112	12.33	0.01336	0.0019	28.22
11	1550	21.5	1.013	1.0138	0.0038	1.01	12.64	0.01336	0.0012	25.19

