



Dicle Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

mühendislikdergisi
journal of engineering

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
mühendislikdergisi
Cilt: 11, Sayı: 1, Mart 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
Abdulnasır YILDIZ
Muhammet Ali ARSERİM
Gültekin AKTAŞ
Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Mehmet Salih KESKİN
Mehmet Emin ÖNCÜ
Bilal GÜMÜŞ
Kadir TURAN
Abdurrahman SAYDUT
Nizamettin HAMİDİ
İbrahim KAYA

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.

- Resul DAŞ (Fırat Üniversitesi)
Mehmet BAYĞIN (Ardahan Üniversitesi)
Ahmet BİNGÜL (Gaziantep Üniversitesi)
İsmail RAFATOV (ODTÜ)
Ahmet Yahya TEŞNELİ (Sakarya Üniversitesi)
Muhammet Hilmi NİSANCİ (Sakarya Üniversitesi)
Abuzer ÇALIŞKAN (Fırat Üniversitesi)
Taner ÇEVİK (İstanbul Aydın Üniversitesi)
Adem ÖZYAVAŞ (İstanbul Aydın Üniversitesi)
Necmettin SEZGİN (Batman Üniversitesi)
Eylem YÜCEL DEMİREL (İstanbul Üniversitesi)
Rüya ŞAMLI (İstanbul Üniversitesi)
Nuh ALPASLAN (Bingöl Üniversitesi)
Ayşegül UÇAR (Fırat Üniversitesi)
Fatih TALU (İnönü Üniversitesi)
Soner KIZILOLUK (Munzur Üniversitesi)
Doğay ALTINEL (İstanbul Medeniyet Üniversitesi)
Serkan ŞİMŞEK (İTÜ)
Hasan GÜLER (Fırat Üniversitesi)
Tolga Ulaş GURBUZ (Gaziantep Üniversitesi)
Selçuk HELHEL (Akdeniz Üniversitesi)
Nesin İLGİN BEYAZIT (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI (Batman Üniversitesi)
Önder AYER (Trakya Üniversitesi)
Murat ÖZSOY (Sakarya Üniversitesi)
Ahmet İhsan KUTLAR (Gaziantep Üniversitesi)
Onuralp ULUER (Gazi Üniversitesi)
Kadir GÖK (Celal Bayar Üniversitesi)
Yahya Hışman ÇELİK (Batman Üniversitesi)
Hasan Donat YILDIZAY (Dumlupınar Üniversitesi)
Mustafa GÜLEŞEN (Dumlupınar Üniversitesi)
Berna BOLAT (YTÜ)
Pınar DEMİRCİOĞLU (Adnan Menderes Üniversitesi)

Özmen ERUSLU (Namık Kemal Üniversitesi)
Semih SEZER (YTU)
H. Haluk SELİM (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Mustafa KUMRAL (ITU)
Akın ODABAŞI (Fırat Üniversitesi)
Tahsin BOYRAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)
Ahmet KILIÇ (Çukurova Üniversitesi)
Ahmet Emin KURTOĞLU (İstanbul Rumeli Üniversitesi)
Kasım YENİGÜN (Harran Üniversitesi)
Veysel GÜMÜŞ (Harran Üniversitesi)
Tahsin ÇETİNYOKUŞ (Gazi Üniversitesi)
Kemal ALAYKIRAN (Necmettin Erbakan Üniversitesi)
Umur Korkut SEVİM (İskenderun Teknik Üniversitesi)
Cahit BİLİM (Mersin Üniversitesi)
Murat ÖRNEK (İskenderun Teknik Üniversitesi)
Erdal UNCUOĞLU (Erciyes Üniversitesi)
Meltem SAPLIOĞLU (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Jülide ÖNER (Uşak Üniversitesi)
Emine ÇORUH (Gümüşhane Üniversitesi)
Mehmet KARATAŞ (Fırat Üniversitesi)
Ömerul Faruk DURSUN (İnönü Üniversitesi)
Hafzullah AKSOY (İTÜ)
Alper BABA (İzmir İleri teknoloji Enstitüsü)
Recep ÇELİK (DÜ)
Tayfun UYGUNOĞLU (Afyon Kocatepe Üniversitesi)
Mehmet Emin ASKER (DÜ)
Abdulnasır YILDIZ (DÜ)
İsa ATAŞ (DÜ)
Muhammed Bahaddin KURT (DÜ)
Abdulkadir ALBAYRAK (DÜ)
Mehmet Sıraç ÖZERDEM (DÜ)
Atilla Gencer DEVECİOĞLU (DÜ)
Vedat ORUÇ (DÜ)
Ömer Faruk CAN (DÜ)
Ahmet YARDIMEDEN (DÜ)
Mesut HÜSEYİNOĞLU (DÜ)
Askeri KARAKUŞ (DÜ)
Mustafa AYHAN (DÜ)

Özgür AKKOYUN (DÜ)

Hayrullah AKYILDIZ (DÜ)

Fevzi ÖNEN (DÜ)

Mehmet Salih KESKİN (DÜ)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

Takım Oyunu Stratejisi için Görüntü İşleme Kullanan Kontrol Algoritmasının Geliştirilmesi (Araştırma Makalesi) <i>Development of Control Algorithm for Team Game Strategy Using Image Processing</i> (Research Article) Mehmet KARAKÖSE, Orhan YAMAN, Muhammed ÇELİK	1
5.8 GHz adaptif güç yükseltici tasarımı (Araştırma Makalesi) <i>5.8 GHz Adaptive Power Amplifier Design</i> (Research Article) Bilge ŞENEL, Mesut KAHRİMAN, Fatih Ahmet ŞENEL	13
Yakıt Pili Uygulamaları için Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresinin Tasarımı (Araştırma Makalesi) <i>Design of Super-Lift DC/DC Boost Converter for Fuel Cell Application</i> (Research Article) Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN	29
Yapay Sinir Ağını Kullanarak Müşteri Memnuniyeti Analizi (Araştırma Makalesi) <i>Customer Satisfaction Analysis Using Artificial Neural Network</i> (Research Article) Yunus Emre ARAÇ, Ahmet GÜRHANLI	39
İmleç Hareketlerine Ait EEG Sinyallerinin Sınıflandırılmasında Adaptif ve Adaptif Olmayan Filtrelerin Uygulamaları (Araştırma Makalesi) <i>Applications of Adaptive And Non-Adaptive Filters For Classification Of EEG Signals of Motor Imagery</i> (Research Article) Zeynelabidin SEVGİLİ, Mehmet AKIN	57
Uzun Kısa Süreli Hafıza ve Evrişimsel Sinir Ağları ile rüzgâr enerjisi üretim tahmini (Araştırma Makalesi) <i>Estimation of wind power generation with Long Short-Term Memory and Convolutional Neural Networks</i> (Research Article) Pelin GÖRGEL, Erkan KAVLAK	69
Evrişimsel sinir ağları kullanılarak normal ve göğüs kanseri hücreleri içeren genomların sınıflandırılması (Araştırma Makalesi) <i>Classification of Genomes Containing Normal and Breast Cancer Cells Using Convolutional Neural Networks</i> (Research Article) Suat TORAMAN, Bihter DAŞ	81
Çevrimiçi sosyal medyada sahte haber tespiti (Araştırma Makalesi) <i>Fake News Detection in Online Social Media</i> (Research Article) Feyza ALTUNBEY ÖZBAY, Bilal ALATAŞ	91
Radio Frequency Energy Harvesting with Phase Shift Keying Modulation Technique (Research Article) Mustafa CANSIZ	105

Keyfi Şekli Silindirlere Gömülü Dielektrik Cisimlerin Etkin Bir Mikrodalga Ters Saçılma Yaklaşımı ile Görüntülenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Imaging of Dielectric Objects Embedded in Arbitrary Shaped Cylinders through an Effective Microwave Inverse Scattering Approach (Research Article)</i> Tolga Ulaş GÜRBÜZ	113
Farklı Evrişimsel Sinir Ağı Mimarilerinin Yüz İfade Analizi Alanındaki Başarımlarının İncelenmesi (Araştırma Makalesi) Investigation of the Performances of Various Convolutional Neural Networks Architectures on the Domain of Facial Expression Analysis (Research Article) Ömer Faruk SÖYLEMEZ, Burhan ERGE	123
Neutron and Ion Production with Various Applied Voltages in Spherical Plasma Focus (Research Article) Yaşar AY	135
Smart EEG Tasarımı (Araştırma Makalesi) <i>Design of Smart EEG (Research Article)</i> İbrahim DURSUN, Mehmet AKIN, Muhammet Ali ARSERİM	143
Meme Kanseri Tümörlerinin Radar Tabanlı Mikrodalga Tekniği ile Görüntülenmesinde Bant Genişliğinin Çözünürlüğe Etkisinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of the Effect of Bandwidth on the Resolution of Breast Cancer Tumors Image in Radar-Based Microwave Technique (Research Article)</i> Hüseyin ÖZMEN, Muhammed Bahaddin KURT	151
Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering	
LPG yakıtlı endüstriyel yatay tip mısır kurutma tesisinin enerji ve maliyet analizi(Araştırma Makalesi) <i>Energy and Cost Analysis of Horizontal Type Corn Drying Plant Using LPG Fuel (Research Article)</i> Fatih ÜNAL, Hüsamettin BULUT, Ahmet KAHRAMAN	161
Plastisite Modellerinde Pekleşme Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Tespiti (Araştırma Makalesi) <i>Determining Hardening Effect In Plasticity Models Using Finite Element Analysis (Research Article)</i> Emre ESENER	171
Ters kavisli kesite sahip bükümlü bantların termohidrolik performansları (Araştırma Makalesi) <i>Thermohydraulic performances of reverse curved cross sectional twisted tape (Research Article)</i> Müslüme KÖŞKER, Fuat YILMAZ	183
Birleşik bir turbülatörün ısı transferi analizi (Araştırma Makalesi) <i>Heat transfer analysis of a combined turbulator (Research Article)</i> Taha Tuna GÖKSU, Müslüme KÖŞKER, Fuat YILMAZ	193

Yağlama durumunun DC01 çelik sac malzemenin artışı şekillendirilmesine etkilerinin incelenmesi (*Araştırma Makalesi*)
Investigation of the influence of lubrication state on formability of DC01 steel alloy sheet metal by ISF (Research Article)
Elif MALYER, Hikmet Sadi MÜFTÜOĞLU **201**

KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin çekme kuvvetine etkisinin varyans analizi ile incelenmesi (*Araştırma Makalesi*)
Determination of the influence of the machining parameters on the tensile load in CFRPs by analysis of variance (Research Article)
Burak YENİGÜN, Erol KILIÇKAP **215**

CuO ve ZnO İçeren Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi (*Araştırma Makalesi*)
Determination of Thermophysical Properties of Nanofluids containing CuO and ZnO and Modeling with Artificial Neural Network (Research Article)
Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT, Mehmet DAŞ **225**

A Benchmark Study for Phase Transformation of Shape Memory Alloy Based Split Ring Resonator Structure Under a Heating and Cooling Thermal Cycle (*Research Article*)
Mehmet Mete ÖZTÜRK, Bahadır DOĞAN **239**

Döner Vinçlerde Modelleme Ve Dinamik Faktör Analizi (*Araştırma Makalesi*)
Modeling and Dynamic Factor Analysis in Rotary Cranes (Research Article)
Muharrem B. BOĞOÇOĞLU **251**

Transfer Matris Metodu ile Fonksiyonel Derecelendirilmiş Sandviç Kirişlerin Titreşim Analizi (*Araştırma Makalesi*)
The Effect on Electrical Conductivity of Production Parameters of Ni Addition at 85/15 Bronze Composite (Research Article)
Pınar Aydan DEMİRHAN, Vedat TAŞKIN **259**

Maden Mühendisliği / Mining Engineering

Terra Rossa oluşumlarının CBS uygulamaları ile değerlendirilmesi, Akseki (Antalya) örneği (*Araştırma Makalesi*)
Evaluation of Terra Rossa formations with GIS applications, Akseki (Antalya) case, Turkey (Research Article)
Ali İSKENDEROĞLU **271**

Alternatif bir yöntemle üretilen demir tanesinin karakterizasyonu (*Araştırma Makalesi*)
Characterization of iron nugget produced by an alternative method (Research Article)
Elif ARANCI ÖZTÜRK, Yunus Emre BENKLİ, Mustafa BOYRAZLI **283**

Silopi Harbul açık işletmesi delme-patlatma çalışmaları incelemesi (Araştırma Makalesi)
Examination of drilling-blasting Works in Silopi Harbul surface mining site (Research Article)
Suud AGİTOĞLU, Nuray ALPASLAN, Mustafa AYHAN **295**

Madencilikte Politik Risk Değerlendirmesi (Araştırma Makalesi)
Political Risk Assessment in Mining (Research Article)
Erhan ÇETİN, Mahmut UÇAN **309**

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması (Derleme Makalesi)
A Review on the Context of Comparison of Passenger and Freight Transport and High Speed Railways (Review Article)
Mehmet Fatih ALTAN, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ **319**

Porsuk çayı akım verilerinin değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi)
Assessment of streamflow data in Porsuk Creek (Research Article)
Ali YILDIRAN, Süheyla YEREL KANDERMİR **329**

Türkiye’de meydana gelebilecek depremlere karşı afet yönetim sistemi performansının veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi (Araştırma Makalesi)
Performance evaluation of disaster management system for earthquake that may occur with data envelopment analysis in Turkey (Research Article)
Ufuk ALTINSOY, Erdem AKSAKAL **341**

Farklı Kür Koşullarının Reaktif Pudra Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi (Araştırma Makalesi)
The Effect of Different Current Conditions on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete (Research Article)
Mehrzad MOHABBİ YADOLLAHİ, Sadık Varol GÜNEŞ **353**

Şev yakınına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesinin sayısal analizi (Araştırma Makalesi)
Analysis of bearing capacity behaviour of shallow foundations near slope (Research Article)
M. Salih KESKİN, Fatih AKGÜL **363**

Koridor Hızı İhlal Tespit Sistemlerinin (KOHİTS) Performans Ölçümlerinde Kullanılabilecek Bir Ölçüm Metodunun Önerilmesi (Araştırma Makalesi)
Suggestion of a measurement method for performance measurements of corridor average speed enforcement systems (KOHİTS) (Research Article)
Metin Mutlu AYDIN, Sevil KÖFTECİ **373**

Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması (Araştırma Makalesi)
Comparison of Spectral Accelerations According to DBYBHY 2007 and TBDY 2018 Earthquake Codes (Research Article)
Ali BOZER **393**

Bingöl Şehir Merkezine Yakın Devlet Yollarında Yağmur Suyu Hasadı Ve Hidroelektrik Potansiyelinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Rainwater Harvest and Hydroelectric Potential in the State Roads in Bingol Province</i> (Research Article) İhsan GÜZEL, Ahmet BENLİ	405
Hiper akışkanlaştırıcı katkı dozajının kalsiyum hidroksit boyutu üzerindeki etkisi (Araştırma Makalesi) <i>Effect of hyper plasticizer admixture dosage on size of calcium hydroxide</i> (Research Article) Hatice ÇİÇEK, İsmail Ağa GÖNÜL	419
Karst ani taşkınları (Araştırma Makalesi) <i>Karst flash floods</i> (Research Article) Muhterem DEMİROĞLU	431
Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği (Araştırma Makalesi) <i>The Use of Waste Materials in the Construction of Dams: The Case of Kadıköy Pond</i> (Research Article) Mehmet Hayrullah AKYILDIZ, Hüseyin EFE, Fevzi ÖNEN	439
Traverten Atıklarının Çimentolu Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımında Renk ve Parlaklık Değerlerinin Araştırılması (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Color and Brightness of Travertine Wastes Using Cementitious Filling Material</i> (Research Article) Ali SARIŞIK, Songül CAN, Keziban ÜRÜN	447

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.



Takım Oyunu Stratejisi için Görüntü İşleme Kullanan Kontrol Algoritmasının Geliştirilmesi

Mehmet KARAKÖSE

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mkarakose@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-3276-3788

Orhan YAMAN*

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
orhanyaman@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-9623-2284, Tel: (424) 237 00 00 (3173)

Muhammed ÇELİK

Fırat Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mcelik.0452@gmail.com

Geliş: 30.07.2018, Revizyon: 29.11.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Bu çalışmada futbol robotlarının kontrolü için görüntü işleme tabanlı gerçek zamanlı bir yöntem önerilmiştir. Robotlar için hazırlanmış futbol sahası üzerine kameralar yerleştirilerek görüntüler alınmaktadır. Alınan görüntüler üzerinde arka plan çıkarımı yöntemi ile robotlar ve top tespiti yapılmaktadır. Görüntü işleme yöntemleri ile tespit edilen topun hızı ve hareketi hesaplanmaktadır. Topa en yakın robotun hızı ve hareket yönü hesaplanarak robot kontrol edilmektedir. Önerilen yöntem literatürdeki mevcut çalışmalar ile karşılaştırıldığında, avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu çalışmada robotların birbirleri ile haberleşmesine gerek kalmadan tamamen görüntü işleme sonucuna göre kontrol edilebilmeleri literatürden farklı en önemli özelliğidir. Ayrıca her robot üzerinde kamera bulunması yerine sadece sahanın üzerindeki kamera ile işlemlerin yapılması yöntemin maliyetini düşürmektedir. Bu çalışmada futbol robotları yerine uzaktan kumanda edilebilen araçlar kullanılmıştır. Bu araçların hareket kabiliyeti futbol robotlarına göre sınırlıdır. Fakat önerilen yöntemin maliyeti literatürdeki çalışmalara göre oldukça düşüktür. Önerilen çalışmayı doğrulamak için deneysel ortam üzerinden yöntem uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar önerilen görüntü işleme yöntemi ile tüm robotların kontrol edilebileceğini göstermektedir.

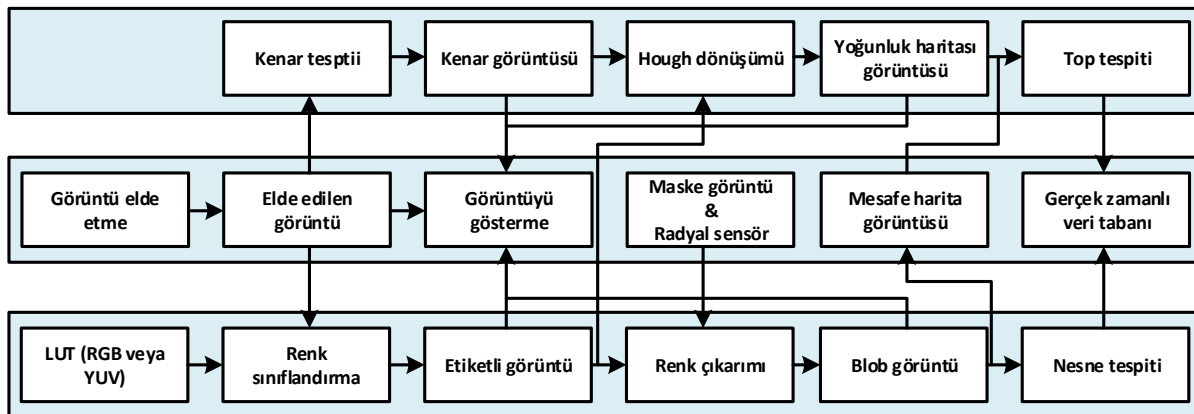
Anahtar Kelimeler: Takım oyunu; Görüntü işleme; Robot kontrol; Optimizasyon.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

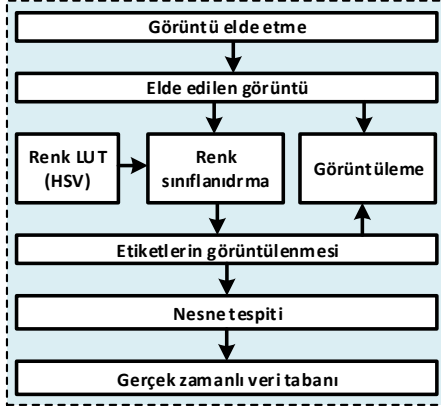
Günümüzde robotik futbol, çoklu robot sistemleri alanında popüler bir araştırma alanıdır. Düşük maliyetli özerk robotlar, toplu olarak çok geniş alanlar ve zaman ölçeğindeki görevleri yerine getirmek için kullanılabilir. Sürü uygulamaları için yeni robotlar şu anda algılama, çalıştırma, işleme, güç ve üretim alanlarındaki son gelişmelerin sonucu olarak geliştirilmektedir. Robot açısından bakıldığında, bir oyun sırasında takım arkadaşları, rakipler, topun konumu ve hızı sürekli değişmektedir. Tahmin edilemez biçimde hareket eden bu nesnelere için sürekli hesaplamalar yapılmaktadır. Robotlar bu sahneleri kameralarıyla yakalamalı ve ilgili nesnelere nerede olduğunu öğrenmelidir. Karmaşık algoritmalar çalıştırmak hesaplama yükünü arttıracak için zaman almaktadır. Gerçek zamanlı çalışabilmek için bütün işlemlerin bir saniyenin küçük bir kesri içerisinde hesaplanması ve kararlaştırılması gerekmektedir. Aksi halde önerilen yöntem yavaş ise başarılı bir sonuç alınmadığından kullanılamaz hale gelmektedir. Literatürde futbol robotları için birçok farklı yöntemler kullanan çalışmalar mevcuttur (Xiong vd., 2016; bin Romlan vd., 2017; Wang vd., 2010; Genter vd., 2015; Agrawal vd., 2016; Gerndt vd., 2015). Neves ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada futbol robotları için çok yönlü görme sistemi önermiştir. Robotların üzerine monte

edilen kamera ve ayna sayesinde 360 derece görüntü almaktadır. Kameradan alınan görüntüler üzerinde renk ve nesne tabanlı yöntem kullanılarak engeller ve top tespit edilmektedir (Neves vd., 2007). Lu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada futbol robotları için çok yönlü görmeye dayalı bir yöntem önermiştir. Kamera ile birlikte kullanılan panoramik ayna ile futbol sahasının tamamı görüntülenmektedir. Çok yönlü görme ve mesafe haritası için görüntüde kalibrasyon yapılmıştır. Topun elips görüldüğü kameraya uzak bölgelerde kolayca tespit edilebilmesi için görüntü işleme tabanlı bir yöntem kullanmıştır (Lu vd., 2008). Mayer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada futbol robotlarında topun kolayca tespit edilebilmesi için bir yöntem önermiştir. Farklı renklerdeki topların tespiti için HSV renk uzayı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir (Mayer vd., 2002). Neves ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada CAMBADA Üniversitesi Aveiro Üniversitesi robot futbol takımı için geliştirilmiş, gerçek zamanlı nesne algılama için etkili birçok yönlü görme sistemi önermiştir. Görme sistemi, kendini lokalizasyonu için kullanılan ve engellerin varlığını bulmak için kullanılan topu ve beyaz çizgileri bulmak için kullanılır. Bu cisimleri algılama algoritmaları ve ayrıca görme sisteminin parametrelerinin çoğu kalibrasyonunda kullanılan algoritmalar geliştirilmiştir (Neves vd., 2011). Literatürde önerilen çok yönlü görme sisteminin yazılım mimarisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Literatürde önerilen çok yönlü görme sistemi

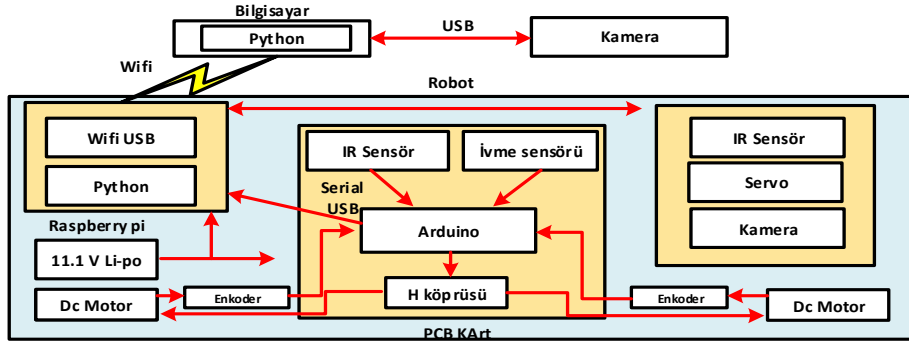
Neves ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada radyal arama hatlarını kullanan futbol robotları için hibrid bir görüntü sistemi geliştirmiştir. 640x480 boyutunda ve 30 fps hızında kameralar kullanarak gerçek zamanlı nesne tespiti yapılmıştır (Neves vd., 2008). Bu çalışmada hem çok yönlü hem de perspektif alt sistemine uygulanmış görme sisteminin mimarisi Şekil 2’de verilmiştir (Neves vd., 2008).



Şekil 2. Literatürde kullanılan görme sisteminin mimarisi

Mitri ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada top tespiti için yeni bir hesaplamalı dikkat sistemiyle görsel nesne algılama yöntemi önermiştir (Mitri vd., 2005). Renkli görüntü üzerinde sobel kenar çıkarım yöntemi kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Geliştirilen yöntemde ilk olarak, insan dikkatleri renk veya yönelimler gibi nesneye özgü özelliklere sahip bölgeler tarafından yakalanır. İkincisi, bu bölgelerle tanıma işlemi gerçekleştirilerek top tespiti yapılmaktadır. Martins ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada futbol robotlarında topun tespit edilmesi için görüntü işleme tabanlı bir yöntem kullanmıştır (Martins vd., 2008). Robot üzerine yerleştirilen kamera ve ayna ile 360 derece görüntü almaktadır. Alınan görüntüler üzerinde özellik çıkarımı için Sobel, Laplace ve Canny

kenar çıkarım yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen kenar görüntüsü üzerinde Hough dönüşümü kullanarak topun tespiti yapılmıştır. Khandelwal arkadaşları Microsoft Kinect RGB-D Sensörü kullanılarak oluşturulan düşük maliyetli, taşınabilir ve gerçek zamanlı bir çözüm sunmuştur (Khandelwal vd., 2011). Geliştirilen bu sistem RoboCup yarışmasında Standart Platform Ligi ortamında robotların ve turuncu topun yerini bulmak için kullanılmıştır. Geliştirilen sistemin kalibre edilmesi oldukça kolaydır ve robotlar üzerinde herhangi bir özel tanımlayıcı gerektirmemektedir. Zhang ve arkadaşları futbol robotlarında engel tanıma için görüntü işleme tabanlı bir yöntem geliştirmiştir (Zhang vd., 2008). Sürü robotları, futbol oynamaları dışında birçok alanda da kullanılmaktadır. Sürü robotlarında alınan görüntülerin işlenmesi, sürü robotların kontrol edilmeleri ve birbirleri ile haberleşmeleri önemli bir bölümdür. Sürü robotları için her geçen gün yazılım ve donanımlar geliştirilmektedir. Wilson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada uygun fiyatlı, çok yönlü ve çok robotlu araştırma, eğitim ve sosyal faaliyetler için uygun yeni bir mobil robot platformu sunulmaktadır (Wilson vd., 2016). Robotlarda küresel konum tahmini için yerleşik oda metodundan ölçümleri birleştirip gerçek zamanlı olarak nesne tanımlama için kamerasını kullanabilme kabiliyetini göstermiştir. Aynı zamanda, iki ve üç robot grupların, merkezi kumandadan gelen komutlara hareket edebildiğini ve bir yükü istenen yönde istikrarlı bir şekilde taşımaktadır. Literatürde önerilen bu yöntemde 30 fps hızında, 640x480 piksel çözünürlüğünde CCD kamera kullanılarak görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler OpenCV platformu kullanılarak görüntü işleme yapılmıştır. Görüntü işleme sonucunda nesnelere tespit edilmektedir. Bir robot için geliştirilen haberleşme alt yapısı Şekil 3’te verilmiştir.



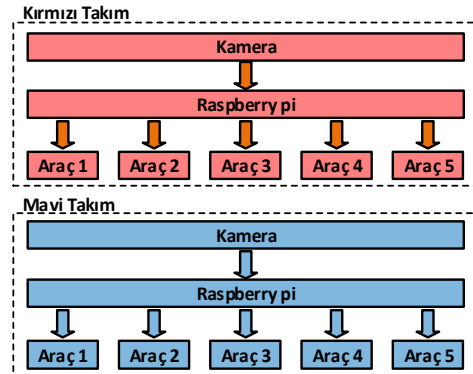
Şekil 3. Literatürdeki çalışmada bir robotun haberleşme altyapısı

Literatürdeki mevcut çalışmalarda genellikle her bir robot için bir kamera kullanılmaktadır. Robotların üzerine kameralar yerleştirilerek alınan görüntülerde görüntü kalibrasyon işlemi daha zordur. Ayrıca her bir robot için sahadaki konumunun tespit edilmesi ve diğer robotlarla olan iletişiminin sağlanması oldukça zor bir işlemdir. Bu tür çalışmalar hem maliyeti hem de iş yükü fazladır. Bu çalışmada futbol robotları için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem görüntü işleme tabanlı olduğu için karar verme ve robotların kontrol edilmesi gibi birçok işlem yazılımsal olarak yapılmaktadır. Her bir robot için kamera kullanılması veya takım halindeki robotların birbirini ile haberleşmesine gerek yoktur. Önerilen yöntemde futbol robotları olarak uzaktan kumanda edilebilen araçlar kullanılmış ve gerekli testler bu araçlar üzerinden yapılmıştır. Bu araçlar görüntü işleme yapan Raspberry pi kartı üzerinde kontrol edilmektedir. Böylece her bir robotun birbirini ile haberleşmesi gibi durumlara ihtiyaç yoktur. Başlangıçta her robotun açısı ve konumları sabitlenmektedir. Her görüntü işleme sonucunda topun konumuna göre en yakın aracın hareket hızı ve açısı hesaplanarak robot kontrol edilmektedir. Önerilen yöntem deneysel bir çalışma ile test edilmiş başarılı sonuçlar alınmıştır.

Önerilen Yöntem

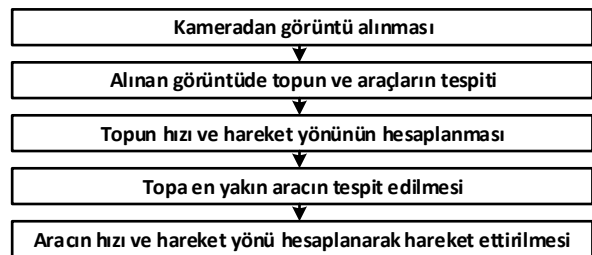
Bu çalışmada, futbol oynayan uzaktan kumandalı araçlar için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, birbirinden bağımsız iki farklı takım bulunmaktadır. Futbol robotları yerine uzaktan kumanda edilebilen araçlar kullanılmıştır. Uzaktan kumandalı

araçların kumandaları Raspberry pi kartının GPIO portlarına bağlanarak araçlar kontrol edilmektedir. Her bir takımda beş adet araç bulunmaktadır. Futbol sahasının üzerine yerleştirilen kamera ile görüntü alınmaktadır. Alınan görüntüde araçların konum bilgileri ve açıları kontrol edilerek topa en yakın aracı hareket ettirmektedir. Önerilen yöntemin genel mimarisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen yöntemin genel mimarisi

Şekil 4'te görüldüğü üzere her takım beş araç, bir Raspberry pi programlama kartı ve bir kameradan oluşmaktadır. Her bir takımın genel akış şeması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Her bir takım için önerilen genel akış şeması

Şekil 5'te kameradan görüntü alınması aşamasında, Raspberry pi programlama kartına takılan kameradan görüntü alınmaktadır. Alınan görüntülerde saha çizgileri, topun ve araçların tespiti için görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntü işleme teknikleri renk tabanlı algılama yöntemleridir. Bu çalışmada, sahanın rengi beyaz, saha çizgileri siyah, araçların renkleri kırmızı ve mavi, topun rengi ise yeşildir. Raspberry pi kartına bağlı kameradan renkli 'RGB' görüntüler alınmaktadır. 'RGB' renk uzayında 'R' kırmızı, 'G' yeşil ve 'B' ise mavi renk uzaylarını ifade etmektedir. Öncelikle alınan 'RGB' görüntü 'HSV' renk uzayına dönüştürülmektedir. 'HSV' renk uzayının kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri çevre şartlarından dolayı görüntüde oluşan ışık yansımaları ve parlaklık gibi etkileri yok etmektedir. 'HSV' renk uzayında 'H' değeri renk özü tonunu ifade edip değeri 0 ile 360 arasındadır. 'S' değeri doygunluk ve 'V' değeri parlaklığı ifade edip değerleri 0 ile 1 aralığındadır (Ford vd., 1998), (Başlar vd., 2012). 'HSV' dönüşümü yapılırken 'R', 'G' ve 'B' renk uzayları 0 ile 1 aralığında normalize edilmektedir. 'HSV' değerlerinin hesaplanmasında 'R', 'G' ve 'B' değerlerinin MAX ve MIN değerleri kullanılmaktadır. Bu değerler 'R', 'G' ve 'B' renk uzayının en büyük ve en küçük değerlerini temsil etmektedir. 'H' değerini hesaplamak için 'R', 'G' ve 'B' değerleri denklem 1'de ki gibi hesaplanmaktadır.

$$R' = \frac{MAX - R}{MAX - MIN}$$

$$G' = \frac{MAX - G}{MAX - MIN}$$

$$B' = \frac{MAX - B}{MAX - MIN}$$

(1)

Denklem 1'de 'R'', 'G'' ve 'B'' değerleri hesaplandıktan sonra denklem 2'de ki gibi 'H' değeri hesaplanmaktadır.

$S = 0$ ise H tanımsızdır

Değilse ve eğer $R = MAX$ ve $G = MIN$ ise $H = 5 + B'$ (2)

Değilse ve eğer $R = MAX$ ve $G \neq MIN$ ise $H = 1 - G'$

Değilse ve eğer $G = MAX$ ve $B = MIN$ ise $H = R' + 1$

Değilse ve eğer $G = MAX$ ve $B \neq MIN$ ise $H = 3 - B'$

Değilse ve eğer $R = MAX$ ise $H = 3 + G'$

Diğer durumlarda $H = 5 - R'$

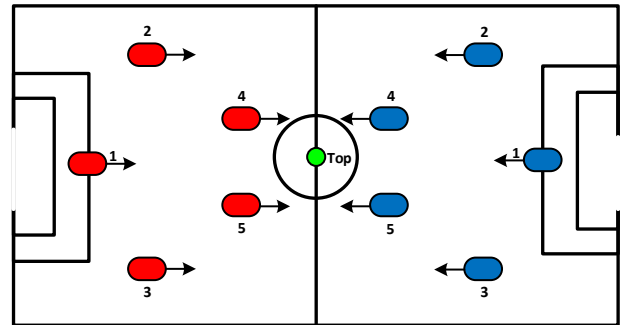
Denklem 2'de ki gibi 'H' değeri bulunarak 60 ile çarpılmaktadır. Böylece 'H' değeri 0 ile 360 arasındaki derece cinsinden ifade edilmektedir. 'S' değeri denklem 3'te ki gibi bulunmaktadır. 'V' değeri ise denklem 4'te ki gibi elde edilmektedir.

$MAX = 0$ ise $S = 0$

Diğer durumlarda $S = 1 - \frac{MIN}{MAX}$ (3)

$V = MAX$ (4)

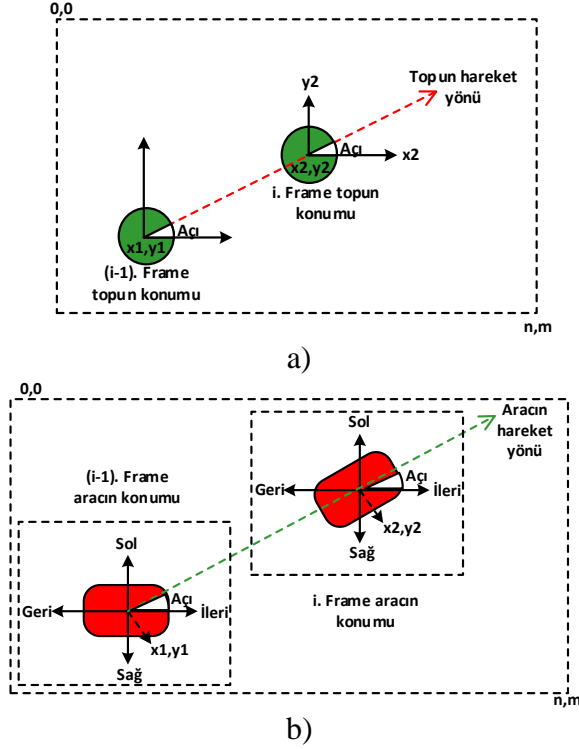
'HSV' renk uzayında renkler sırasıyla renk özü, doygunluk ve parlaklık olarak tanımlanmaktadır. Nesnelerin renk tabanlı tespit edilmesi işleminde genellikle 'HSV' renk uzayı modeli kullanılmaktadır. 'RGB' renk uzayında parlaklığa bütün bileşenlerin etkisi bulunmakla beraber 'HSV' uzayında ise 'RGB' uzayından farklı olarak parlaklığa sadece 'V' değerinin etkisi vardır. Önerilen yöntemde topun ve araçların başlangıçta konumlandırılması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Araçlar ve topun başlangıçta konumlanması

Şekil 6'da ki gibi başlangıçta top ve araçlar sabittir. Uygulamanın başlamasıyla birlikte kameradan alınan görüntüde, topun konumu tespit edilerek hızı ve hareket yönü hesaplanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre topa en yakın aracın topu karşılaması için uygun

hız ve açı hesaplanarak araç hareket ettirilmektedir. Topun ve aracın hızını ve hareket yönünü hesaplarken Şekil 7'de ki gibi bir önceki frame ile karşılaştırılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 7. Topun ve aracın hareketi

Şekil 7.a'da görüldüğü gibi topun hızının ve hareket yönünün hesaplanması için i . frame ile $(i-1)$. frame karşılaştırılmaktadır. Öncelikle iki frame arasında topun konumları hesaplanarak konum farkına göre hızı ve hareket yönü

hesaplanmaktadır. Topun hızı denklem 5'te, hareket yönü denklem 6'da ki gibi hesaplanmaktadır.

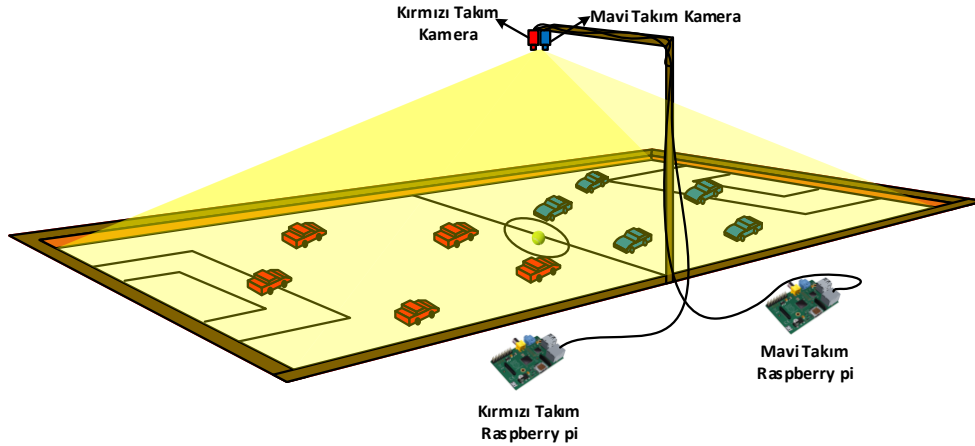
$$V = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5)$$

$$\tan \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

Denklem 5 ve 6'da kullanılan x_1, x_2, y_1, y_2 değerleri Şekil 7.a ve Şekil 7.b' de verilmiştir. Denklem 5'te verilen V parametresi iki frame arasında topun veya aracın piksel cinsinden değişim miktarıdır. Denklem 6'da verilen α parametresi iki frame arasında topun ve aracın açısıdır. Böylece topun hızı ve hareket yönü hesaplanmaktadır. Bu hesaplamaların ardından topa en yakın araç tespit edilerek bu aracın topu karşılaşması için aracın gereken hızı ve yön bilgisi hesaplanmaktadır. Hesaplama sonucunda araç hareket ettirilerek topun hareketine karşılık vermektedir. Bu işlem iki takım içinde yapılmaktadır.

Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada önerilen yöntemin uygulanması için bir deneysel platform oluşturulmuştur. Bu platform üzerine iki takıma ait kameralar sabitlenerek tüm sahayı görebilecek şekilde ayarlanmıştır. Önerilen yöntem Raspberry pi programlama kartı üzerinde Python programlama dilinde geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin uygulanması için geliştirilen deneysel platform Şekil 8'de verilmiştir.

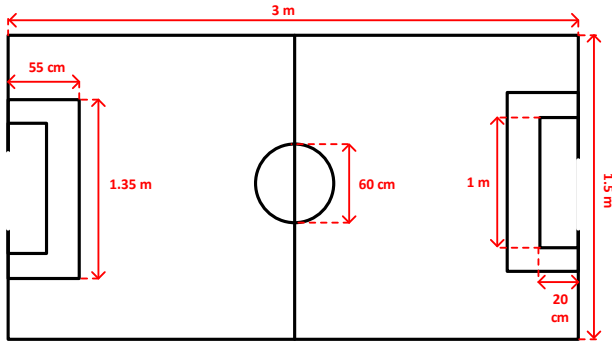


Şekil 8. Geliştirilen deneysel platform

Bu çalışmada kullanılan Raspberry pi programlama kartı ve kameranın özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 8'de verilen deneysel platformun ölçüleri Şekil 9'da görülmektedir.

Tablo 1. Raspberry pi ve kameranın özellikleri

Raspberry pi	İşlemci Yonga Seti	Broadcom BCM2836 ARMv7 Quad Core 900 MHz
	RAM	1GB SDRAM @ 450 MHz
	Hafıza	MicroSD
	USB 2.0	4x USB Port
	Güç	1.8A @ 5V
	IO Port	40 pin
	Ethernet Port	10/100 Ethernet RJ45 jack
Raspberry pi Kamera Modülü	Boyut	25x20x9mm
	Çözünürlük	5 MP (2592x1944 piksel)
	Video Çekimi	1080p, 720p ve 640x480p



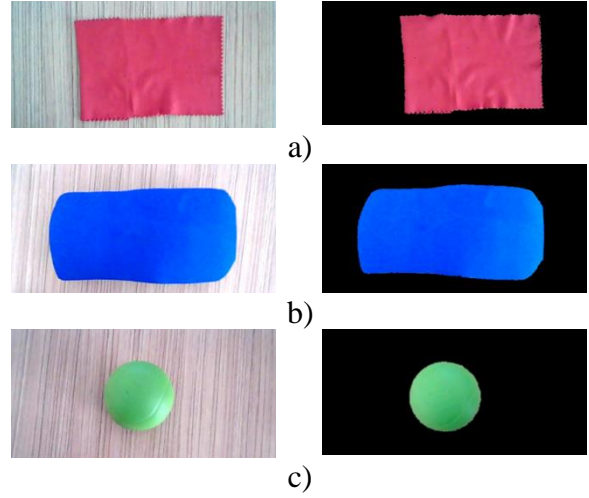
Şekil 9. Deneysel platformun ölçüleri



Şekil 10. Işık yansımalarını önlemek için araç yüzeyinin kaplanması a) Kırmızı araç b) Mavi araç

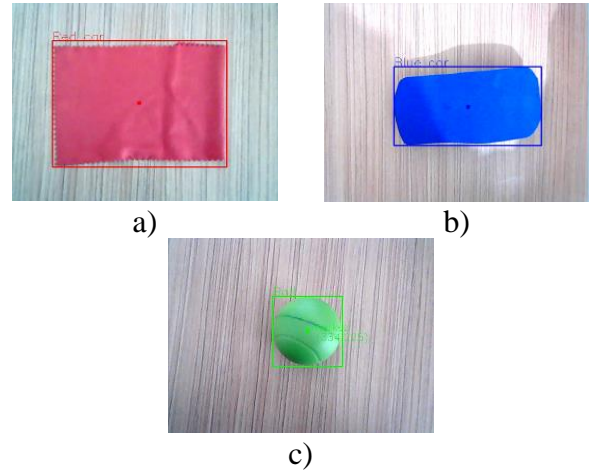
Şekil 10'da verilen araçların uzunlukları yaklaşık 21 cm'dir. Şekil 11'de verilen topun çapı ise yaklaşık 6.3 cm'dir. Araçlar ve topun tespit edilebilmesi için kullanılan 'HSV' renk uzayı ile

arka plan çıkarım sonuçları Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. HSV Renk tabanlı arka plan çıkarımı a) Kırmızı araç b) Mavi araç c) Top

Şekil 11'de ki gibi araçlar ve topun arka plan çıkarımı yapıldıktan sonra araçların ve topun renklerine göre tespiti yapılmaktadır. Arka plan çıkarımının ardından tespit edilen araçlar ve topun ağırlık merkezleri hesaplanarak Şekil 12'de ki gibi gösterilmektedir.

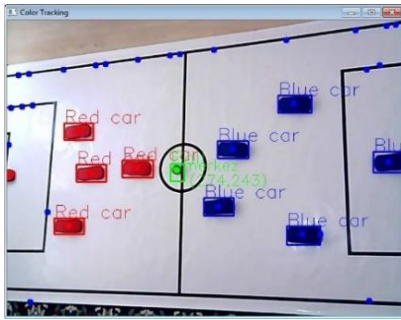


Şekil 12. Top ve araçların ağırlık merkezinin hesaplanması a) Kırmızı araç b) Mavi araç c) Top

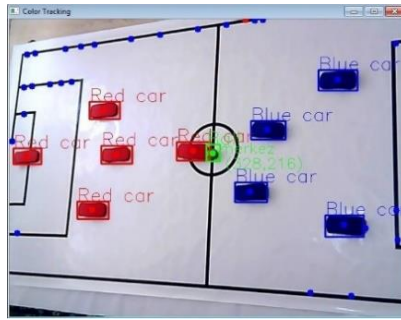
Şekil 12'de araçların ve topun ağırlık merkezleri hesaplanırken tespit edilen nesnenin piksel konumlarının ortalaması hesaplanmaktadır. Bu işlemin sonucunda elde edilen konum mevcut nesnenin ağırlık merkezi olarak adlandırılmaktadır. Bir önceki frame de elde

edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak topun hareketine göre araçlar hareket ettirilmektedir. Mavi takım için top hedef ve kırmızı takım araçları engel iken kırmızı takım için de top hedef ve mavi takım araçları engel olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kameradan alınan 640x960 boyutundaki görüntüler 320x480 boyutuna dönüştürülerek test yapılmıştır. Görüntü boyutunun dönüştürülmesindeki amaç yöntemin daha hızlı çalışmasıdır. 640x960 ve 320x480 boyutlarındaki görüntülerde elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Geliştirilen

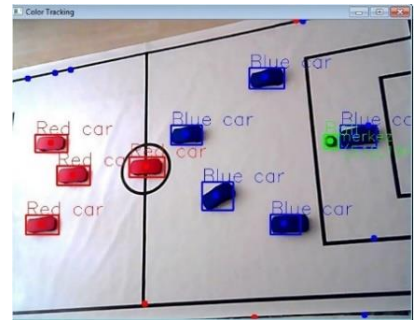
yöntem 600 frame çalıştırılarak farklı zaman aralıklarında alınan örnek görüntüler Şekil 13’te verilmiştir. Şekil 13’te görüldüğü üzere 0. Frame oyunun başlangıç anıdır. 33. Frame de topa en yakın kırmızı araç müdahale ederek topu hareket ettirmiştir. Hareketi sırasında her frame de topun hızı ve hareket yönü hesaplanarak topa en yakın araç tespit edilmektedir. Böylece topa en yakın araç müdahale ederek topu hareket ettirmektedir. Önerilen yöntem farklı boyutlardaki görüntüler için çalışma süresi Tablo 2’de verilmiştir.



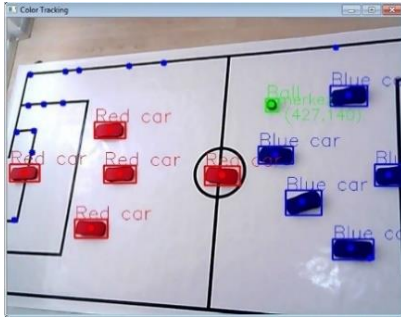
0. Frame



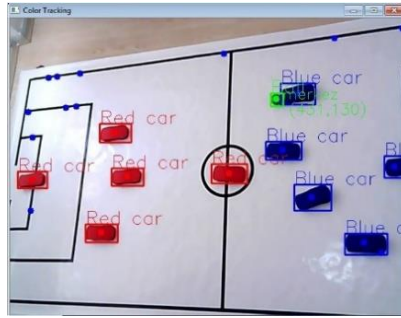
35. Frame



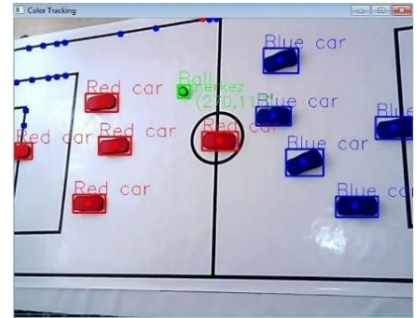
70. Frame



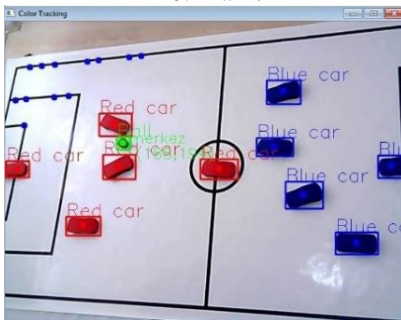
120. Frame



155. Frame



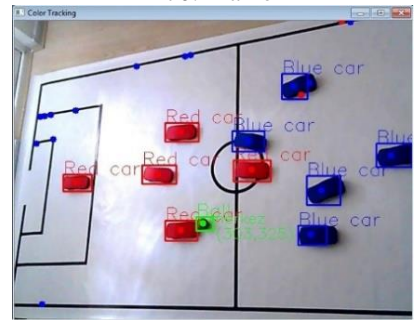
170. Frame



200. Frame



500. Frame



525. Frame

Şekil 13. Uygulama çalıştığı sırada farklı zamanlarda alınan örnek görüntüler

Tablo 2. Önerilen yöntemin çalışma zamanı

	640x960 piksel RGB görüntü		320x480 piksel RGB görüntü	
	Ortalama zaman (ms)	Standart sapma (ms)	Ortalama zaman (ms)	Standart sapma (ms)
Topun ve araçların tespiti	37,5	3,4	12,5	1,3
Topun hızının ve hareket yönünün hesaplanması	2,7	0,8	2,7	0,8
Topa en yakın aracın tespit edilmesi	7,1	1,6	7,1	1,6
Aracın hızını ve hareket yönünün hesaplanması	2,7	0,8	2,7	0,8
Aracın hareket ettirilmesi	50	0	50	0
Toplam	100	2,6	75	0,7

Tablo 2’de iki farklı görüntü boyutu için yöntemin çalışma zamanı verilmiştir. Önerilen yöntemde futbol robotları yerine uzaktan kumandalı araçlar kullanıldığı için literatürdeki çalışmalar ile başarı sonuçları karşılaştırmamıştır. Geliştirilen yöntemde mevcut araçların ve topun tespitindeki başarı oranı yaklaşık %92 olarak hesaplanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada futbol robotlarının gerçek zamanlı kontrolü için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin test edilmesi için 2 adet Raspberry pi programlama kartı, 2 adet kamera, 10 adet uzaktan kumanda edilebilen araçlar ve 1 adet toptan oluşan bir deneysel platform kurulmuştur. Her bir takım 1 adet Raspberry pi programlama kartı, 1 adet kamera ve 5 adet uzaktan kumanda edilebilen araçtan oluşmaktadır. Kameradan alınan görüntüler Raspberry pi programlama kartı üzerinde gerçek zamanlı işlenerek araçların ve topun konumları tespit edilmektedir. Nesne tespit işlemi için ‘HSV’ renk uzayı kullanılarak yapılmaktadır. Tespit edilen topun hızı ve konumuna göre en yakın aracın hızı ve yönü hesaplanarak kontrol edilmektedir. 640x960 piksel ve 320x480 piksel boyutlarındaki görüntüler için yapılan testlerde, yaklaşık 10-13 fps ile gerçek zamanlı çalışabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında, en önemli özgün yönü her bir robot üzerine kamera bulunmaksızın tek bir kameradan tüm hesaplamaların yapılmasıdır. Ayrıca Raspberry pi programlama kartı üzerinde

Python programlama dilinde geliştirilen bu yöntem sayesinde araçların birbirleri ile haberleşmesine gerek kalmadan tek bir merkezden kontrol edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada futbol robotları yerine uzaktan kumanda edilebilen araçların kullanılması maliyeti düşürse de hareket kabiliyetini kısıtlamaktadır.

Kaynaklar

- Agrawal, G., & Karlapalem, K., (2016), “Wheeled robots playing chain catch: strategies and evaluation”, In Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems ss. 1283-1284.
- Bin Romlan, M. F. A., Parasuraman, S., Khan, M. A., & Elamvazuthi, I. (2017), “Motion synchronization of humanoid robot for playing soccer and ball detection methods”, IEEE 3rd International Symposium in Robotics and Manufacturing Automation (ROMA), ss. 1-4
- Başlar, İ., (2012), “Tüm Gökyüzü Kamerasından Alınan Görüntüler Kullanılarak Bulutluluk Ölçümü Yapılması”, Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu.
- Ford, A., & Roberts, A., (1998), “Colour space conversions”, Westminster University, London, ss. 1-31.
- Genter, K., Laue, T., & Stone, P., (2015), “The robocup 2014 spl drop-in player competition: Encouraging teamwork without pre-coordination”, In Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems ss. 1745-1746.
- Gerndt, R., Seifert, D., Baltes, J. H., Sadeghnejad, S., & Behnke, S., (2015), “Humanoid robots in soccer: Robots versus humans in RoboCup 2015”,

- IEEE Robotics & Automation Magazine, 22(3), ss. 147-154.
- Khandelwal, P., & Stone, P., (2011), "A low cost ground truth detection system for RoboCup using the Kinect," In Robot Soccer World Cup ss. 515-527.
- Lu, H., Zhang, H., Xiao, J., Liu, F., & Zheng, Z., (2008), "Arbitrary ball recognition based on omnidirectional vision for soccer robots", In Robot Soccer World Cup ss. 133-144.
- Martins, D. A., Neves, A. J., & Pinho, A. J., (2008), "Real-time generic ball recognition in RoboCup domain", In Proc. of the 3rd International Workshop on Intelligent Robotics, IROBOT ss. 37-48.
- Mayer, G., Utz, H., & Kraetzschmar, G., (2002), "Towards autonomous vision self-calibration for soccer robots", International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ Cilt. 1, ss. 214-219.
- Mitri, S., Frintrop, S., Pervolz, K., Surmann, H., & Nuchter, A., (2005), "Robust object detection at regions of interest with an application in ball recognition", In Robotics and Automation, 2005. IEEE International Conference on ICRA 2005. Proceedings of the 2005 ss. 125-130.
- Neves, A. J., Corrente, G. A., & Pinho, A. J., (2007), "An omnidirectional vision system for soccer robots", In Portuguese Conference on Artificial Intelligence ss. 499-507.
- Neves, A. J., Martins, D. A., & Pinho, A. J., (2008), "A hybrid vision system for soccer robots using radial search lines", In Proc. of the 8th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, Portuguese Robotics Open-ROBOTICA ss. 51-55.
- Neves, A. J., Pinho, A. J., Martins, D. A., & Cunha, B., (2011), "An efficient omnidirectional vision system for soccer robots: From calibration to object detection", Mechatronics, Cilt. 21, No. 2, ss. 399-410.
- Wang, X., Zhang, H., Lu, H., & Zheng, Z., (2010), "A new triple-based multi-robot system architecture and application in soccer robots", In International Conference on Intelligent Robotics and Applications ss. 105-115.
- Wilson, S., Gámeros, R., Sheely, M., Lin, M., Dover, K., Gevorkyan, R., ... & Berman, S., (2016), "Pheeno, a versatile swarm robotic research and education platform", IEEE Robotics and Automation Letters, Cilt. 1 No. 2, ss. 884-891.
- Xiong, D., Xiao, J., Lu, H., Zeng, Z., Yu, Q., Huang, K., ... & Zheng, Z., (2016), "The design of an intelligent soccer-playing robot", Industrial Robot: An International Journal, 43(1), ss. 91-102.
- Zhang, H., Lu, H., Wang, X., Sun, F., Ji, X., Hai, D., ... & Zheng, Z., (2008), "Nubot team description paper", RoboCup 2008 Suzhou.

Development of Control Algorithm for Team Game Strategy Using Image Processing

Extended abstract

Today, robotics football is a popular field of research in the field of multi-robot systems. Low-cost autonomous robots can be used to accomplish tasks in a very large area and time scale, collectively. Robots used in herd applications are now being used as a result of recent developments in detection, operation, processing, power and production. From the point of view of the robot, the playground, teammates, competitors and the ball are constantly changing very quickly in a game. Robots must discover where the camera should capture these scenes and interesting objects. Running complex algorithms takes quite some time. In order to be able to work in real time, all transactions have to be calculated and agreed in a short time. Otherwise, if the proposed method is slow, a successful result cannot be obtained.

Current studies in the literature usually use a camera for each robot. Cameras are placed on the robots and images are taken. It is necessary to calibrate the image on the received images. Furthermore, it is very difficult to determine the position of the field on each robot and to communicate with other robots. Such studies are both costly and difficultly.

In this study, a real-time image processing based method is proposed for controlling soccer robots. Cameras are placed on football ground prepared for robots and images are taken. Robots and cannons are detected by background subtraction method. The determined ball speed and movement is calculated. By detecting the robot nearest to the top, the speed and direction of the robot are determined and the robot is controlled. The proposed method has advantages and disadvantages when compared with current studies in the literature. In this study, it is the most important difference from the literature that robots can be controlled completely according to the result of image processing without having to communicate with each other. Moreover, instead of having a camera on each robot, it only reduces the cost of performing the operation with the camera on the field. In this study, instead of football robots, remotely controlled vehicles were used. The mobility of these tools is limited compared to soccer robots. In order to verify the proposed study, a method was applied on the experimental medium.

In order to test the proposed method, an experimental platform consisting of 2 Raspberry pi programming cards, 2 cameras, 10 remotely controlled vehicles and one wholesale was established. Each team consists of 1 Raspberry pi programming card, 1 camera and 5 remote controllable vehicles. The images taken from the camera are processed in real time on the Raspberry pi programming card and the positions of the vehicles and the ball are determined. For object detection, HSV color conversion is done according to color values. The vehicle is controlled by calculating the speed and direction of the nearest vehicle according to the determined ball speed and position. Tests for images with dimensions of 640x960 pixels and 320x480 pixels have resulted in real-time operation at about 10-13 fps. When this study is compared with the studies in the literature, the most important advantage is that all the calculations are done from a single camera without a camera on each robot. In addition, this method developed on the Raspberry pi programming card in the Python programming language allows the tools to be controlled centrally without having to communicate with each other. However, the use of remotely controlled vehicles instead of soccer robots in this study reduces the cost but restricts the ability to move.

Keywords: Team game, Image processing, Robot control, Optimization



5.8 GHz adaptif güç yükselteci tasarımı

Bilge ŞENEL*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Isparta
bilgeturkel@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0003-3612-936X, Tel: (246) 211 13 72

Mesud Kahrıman

Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Isparta
mesudkahrıman@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0003-0731-0936

Fatih Ahmet ŞENEL

Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta
fatihsenel@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0003-1918-7277

Geliş: 17.08.2018, Revizyon: 02.01.2019, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Bu çalışmada 5.8 GHz frekansı ile uyumlu adaptif Güç Yükselteç (GY) sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem, GY, mikrodenetleyicili besleme (V_{DC}) kontrol ünitesi, güç dedektörleri ve yönsel kuplörlerden oluşmaktadır. Çalışmada tasarımı yapılan sistem ile GY giriş gücü ($P_{giriş}$) ve çıkış gücü ($P_{çıkış}$) anlık olarak okunmakta, değişen RF $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ değerlerine göre GY'yi besleyecek V_{DC} gerilimleri üretilmektedir. Adaptif sistem tasarımı, donanımsal tasarım ve yazılımsal tasarım olarak iki temel kısma ayrılmıştır. Sistem donanım alt yapısı, iki adet yönlü kuplör, iki adet RF güç dedektörü, R/2R sayısal analog dönüştürücü devresi, gerilim izleyici devresi, akım sensörü ve analog sayısal dönüştürücü devrelerinden meydana gelmektedir. Sistem yazılım alt yapısını oluşturan mikrodenetleyici ile sisteme adaptiflik özelliği kazandırılmıştır. Çalışmada GY'ye adaptiflik özelliği kazandıran tüm sistem elemanları ayrı ayrı tasarlanmıştır. Sistem yazılımının mikrodenetleyici ile yapılması maliyeti azaltmıştır. GY'ye adaptiflik özelliği kazandırmaktaki amaç, GY doğrusallık ve verim performansını kararlı hale getirmektir. Bu sebeple, çalışmada birisi 5 dB diğeri 10 dB olmak üzere farklı iki kazanç (G) değeri seçilmiştir. GY girişine gelmesi olası tüm $P_{giriş}$ değerleri için, GY G'sini seçilen değerlerde sabit tutacak V_{DC} gerilimleri tasarlanan adaptif sistem tarafından üretilmektedir. GY G'sininin sabit tutulmasındaki amaç, GY'nin sabit V_{DC} beslemesi ile oluşabilecek G bozulmasını kompanze etmek ve GY için doğrusallık kriteri olan P_{1dB} noktasını ötelemektir. Adaptif sistem ile GY için G kontrolü ile beraber verim kontrolü de yapılmakta ve GY veriminin belirli bir değer altına düşmesi önlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif Güç Yükselteci; 5.8 GHz, DC koşullar; Mikrodenetleyicili kazanç kontrolü; P_{1dB}

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.454270

Giriş

Günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinin, aynı elektronik teçhizat içerisinde, birçok kablosuz haberleşme standardını aynı anda desteklemesi gerekmektedir. Farklı haberleşme standartlarında, radyo spektrumunun verimli kullanılabilmesi için haberleşme sistemleri farklı frekans bantlarında çalışabilmelidir. İnsan hayatını kolaylaştırabilmek için, kablosuz haberleşme sistemleri tarafından desteklenen video, ses ve diğer multimedya servislerinin daha hızlı, uygun maliyetli ve uzun batarya ömürlü olmaları gerekmektedir. Bu talepleri karşılayabilmek için, yeniden yapılandırılabilir, çok bantlı, yüksek verimli ve yüksek doğrusal RF verici sistemleri gereklidir (Ashraf vd., 2016). Kablosuz haberleşme sistemlerinin kritik elemanları olan güç yükselteçlerinin, bu taleplerin tamamını birden karşılaması oldukça güçtür. Özellikle, doğrusallığa karşı verim ödünleşimi, Güç Yükselteci (GY) tasarımında kritik bir durumdur. GY verimi, genellikle cihaz çalışma koşulları (RF koşulları) doyuma yaklaştıkça artarken, GY doğrusallığı, tam tersine geri-çekil (back-off) bölgesinde iyileşmektedir. Aynı zamanda, birçok haberleşme sistemi için hem doğrusallık hem de verim son derece önemli özelliklerdir. Bu nedenle, verim-doğrusallık ödünleşimini optimize edebilmek için, en uygun GY tasarım stratejilerinin bulunması önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Giofrè vd., 2018). GY'ler, Çıkış Gücünü ($P_{\text{çıkış}}$) maksimize ederken Güç Ekli Verimi (GEV) de yüksek değerlerde muhafaza edebilmek için, genellikle 1 dB kazanç sıkıştırma noktasına ($P_{1\text{dB}}$) yakın çalıştırılırlar. $P_{1\text{dB}}$ noktasına yakın doğrusal olmayan bölgede çalıştırılan GY'lerin, azalan doğrusallık performansının artırılması için ek yöntemlere ihtiyaç vardır (Cripps, 2002). Günümüzde, modern Yazılım Tabanlı Radyo (YTR-SDR) uygulamalarında, doğrusallaştırıcı yöntem olarak Sayısal Ön Bozunum (SÖB) tercih edilmektedir. Aynı zamanda, GY'de kullanılan transistörün çalışma noktasının statik veya dinamik kontrollü ile GY'lerde doğrusallık kontrolü yapılabilmektedir (Jeźdrzejewski vd., 2018). Bu statik veya dinamik çalışma noktası kontrolü, GY girişine uygulanan modüleli

sinyalin zarf gücüne (Cao vd., 2018) veya GY giriş veya çıkışında dedekte edilen RF gücüne (Hwang vd., 2012; Couturier vd., 2013; Jaiswal vd., 2015) göre yapılmaktadır. Literatürde, çalışma noktası kontrollü GY tasarımı için temelde adaptif besleme, dinamik besleme ve zarf izleme yöntemleri olarak adlandırılan üç farklı yöntem bulunmaktadır. Adaptif besleme yönteminde, GY $P_{\text{giriş}}$ ve $P_{\text{çıkış}}$ 'ı RF dedektörleri ile okunmakta, okunan güç değerlerine göre değişen DC gerilim veya akımlar üretilmektedir (Lee vd., 2017). Dinamik besleme yönteminde ise GY $P_{\text{giriş}}$ veya $P_{\text{çıkış}}$ bilgisi okunmakta, bu bilgiye göre DC koşullar değiştirilmektedir (Kim vd., 2013). Zarf izleme yönteminde ise GY girişine uygulanan modüasyonlu sinyal zarf dedektörleri ile okunmakta ve buna göre GY besleme koşulları değiştirilmektedir (Yusoff vd., 2016). Literatürde, adaptif besleme yöntemi, çoğunlukla Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken (BMOYİ-CMOS) devre yapılarında kullanılmıştır (Cho vd., 2016). Adaptif besleme yöntemi kullanılmış BMOYİ GY'ler frekans (Chen vd., 2017), uygulama alanı (Jin vd., 2013; Chen ve Fan 2015), devre boyutu (Tsai vd., 2017) gibi farklılıklar göstermektedir. Dinamik besleme yönteminde ise BMOYİ yapılı GY'ler (Kim vd., 2013; Seth vd., 2016; Li vd., 2018) dışında, ayırık transistör yapısında tasarlanmış GY'lere de (Chen vd., 2016; Gecan vd., 2016) rastlamak mümkündür. Bu çalışmada ise GY'lerde doğrusallık performansının artırılması amacıyla, literatürde yer alan doğrusallık artırıcı yöntemlerden, adaptif besleme yöntemi tercih edilmiştir. Adaptif Besleme Devreli GY sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem ile geniş bir $P_{\text{giriş}}$ aralığında, GY kazancını (G) seçilen değerlerde sabit tutan, DC besleme gerilimlerini (V_{DC}) üretecek mikrodenetleyicili adaptif sistem tasarımı amaçlanmıştır. Sistem WiMAX 5.8 GHz frekansı ile uyumlu çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Son yıllarda hızla gelişmekte olan WiMAX standardı kullanıcılara daha yüksek veri oranları, hizmet kalitesi ve geniş kapsama alanı sağlamaktadır. Sistem, SBB5089Z GY modülü, iki adet yönlü kuplör, iki adet RF güç dedektörü, adaptif DC besleme (V_{DC}) bloğundan meydana gelmektedir. LM324'lü gerilim izleyici devresi ve R/2R

sayısal analog dönüştürücü devresi ile desteklenmiş mikrodenetleyici adaptif V_{DC} bloğunu oluşturmaktadır. Çalışmada iki farklı sabit G değeri seçilmiştir. Seçilen iki G için, GY'ye gelmesi muhtemel $P_{giriş}$ değerlerine göre V_{DC} değiştirilmiş, GY kazancının seçilen değerlerde sabit kalması sağlanmıştır. Değişen $P_{giriş}$ 'e göre GY G 'sinin sabit tutulması, P_{1dB} ve kazanç azalması (kazanç sıkışması) problemlerini ortadan kaldırmıştır. Bu sayede sistem ile GY Kazanç Bozulması (KB) kompanze edilerek, GY doğrusallık performansı artırılmıştır. Çalışmada, kazanç dışında, verim kontrolü de yapılmıştır. Değişen $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ 'a göre, GY kazancını sabit tutacak her V_{DC} değeri için GY verimi de kontrol edilmiştir. Bu sayede verimin de belirli bir değer altına düşmesi engellenmiştir.

Çalışmada önerilen sistem ile GY girişine gelmesi muhtemel $P_{giriş}$ 'e göre, V_{DC} adaptif olarak değiştirilerek, GY'nin $P_{çıkış}$, G ve verim kontrolü yapılmıştır. Özet olarak çalışmada tasarlanan sistem ile GY girişine gelmesi muhtemel $P_{giriş}$ 'e göre GY $P_{çıkış}$, G ve verim davranışını kontrol eden, adaptif V_{DC} değerleri üretilmektedir.

Çalışmanın izleyen bölümleri sırasıyla materyal ve yöntem, uygulama ve başarımlar, sonuçlar ve tartışma, teşekkür ve kaynaklardır.

Materyal ve yöntem

Çalışmada, 5.8 GHz frekansında çalışan, kazanç ve verim kontrollü, adaptif V_{DC} üniteli GY sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem ile GY $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ bilgileri anlık olarak okunarak, GY veriminden ödün vermeden, GY G 'sini seçilen değerlerde sabit tutan V_{DC} değerleri üretilmektedir. Çalışmanın amacı, tasarlanan adaptif DC besleme devresi ile GY veriminden ödün vermeden doğrusallık performansının artırılmasıdır. GY'lerde birçok doğrusallık ve verim performans parametresi vardır. Bu çalışmada, GY doğrusallık performansı, $P_{çıkış}$, G ve P_{1dB} ile verim performansı ise Güç Ekli Verim (GEV) ve DC Güç Tüketimi (P_{DC}) ile karakterize edilmiştir.

GY'lerde kazanç, Watt cinsinden, GY $P_{çıkış}$ 'ının $P_{giriş}$ 'ine oranı (1) olarak tanımlanır. dBm cinsinden kazanç ise, GY $P_{çıkış}$ - $P_{giriş}$ farkı (2) olarak tanımlanır.

$$G(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{çıkış}(Watt)}{P_{giriş}(Watt)} \quad (1)$$

$$G(dB) = P_{çıkış}(dBm) - P_{giriş}(dBm) \quad (2)$$

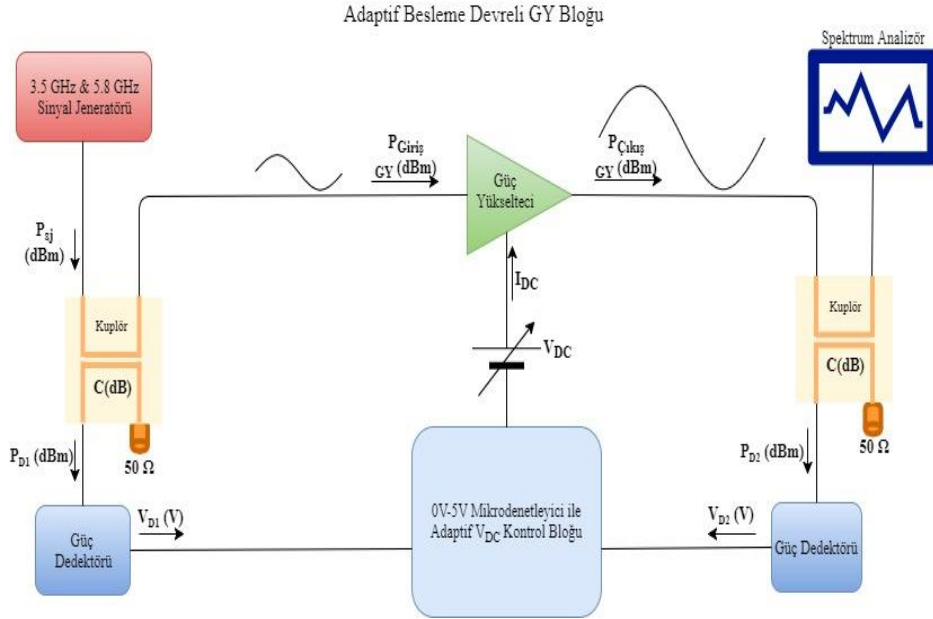
GY'lerde verimi ifade eden en önemli tanım GEV'dir. Watt cinsinden, GY $P_{çıkış}$ 'ı ile $P_{giriş}$ 'i arasındaki farkın, GY toplam DC güç tüketimine (P_{DC}) oranı olarak (3) ile ifade edilir.

$$GEV(\%) = 100 \frac{P_{çıkış}(Watt) - P_{giriş}(Watt)}{V_{DC} * I_{DC}} \quad (3)$$

Daha önce de bahsedildiği gibi çalışmada, GY'lerde doğrusallık performansını artırmak için, GY $P_{çıkış}$ - $P_{giriş}$ farkına göre V_{DC} üreten adaptif DC besleme blokları GY sistem tasarımı yapılmıştır. Adaptif DC besleme bloğu ile GY $P_{çıkış}$ ve $P_{giriş}$ değerleri, 200mS'lik periyotlar ile okunmuş, $P_{çıkış}$ - $P_{giriş}$ farkını seçilen değerlerde sabit tutan V_{DC} gerilimleri üretilmiştir. Çalışmada, muhtemel RF $P_{giriş}$ değerlerinde, GY kazanç bozulmasını kompanze edebilmek için, iki farklı kazanç değeri seçilmiştir. Seçilen kazanç değerleri, GY P_{1dB} noktasındaki kazançlardan daha düşüktür. Sistem ile GY'nin $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ değerleri okunmakta, $P_{çıkış}$ - $P_{giriş}$ farkını, seçilen kazanç değerlerinde sabit tutan V_{DC} üretilmektedir. Çalışmada adaptif V_{DC} üretimi mikrodenetleyici ile sağlanmıştır. Sabit kazanç değerleri ise 5 dB ve 10 dB olarak seçilmiştir. Adaptif DC besleme blokları sistem tasarımındaki asıl amaç GY kazanç bozulmasını kompanze etmektir. Adaptif sistem ile kazanç kontrolü haricinde, GY verimini belirli değerde tutmak amacıyla verim kontrolü de yapılmıştır. Kazanç kontrolünde (1) ve (2) denklemleri, verim kontrolünde ise (3) denklemi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici yazılımı bu durumlar esas alınarak tamamlanmıştır.

Sistem tasarımı, GY seçimi, adaptif V_{DC} kontrol bloğu elemanları tasarımı ve sistem yazılımını

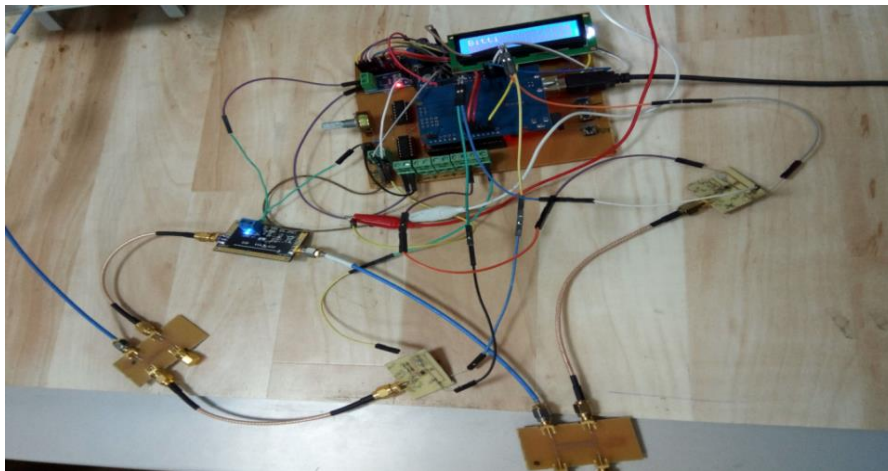
oluşturan mikrodenetleyici programlanması şeklinde tamamlanmıştır.



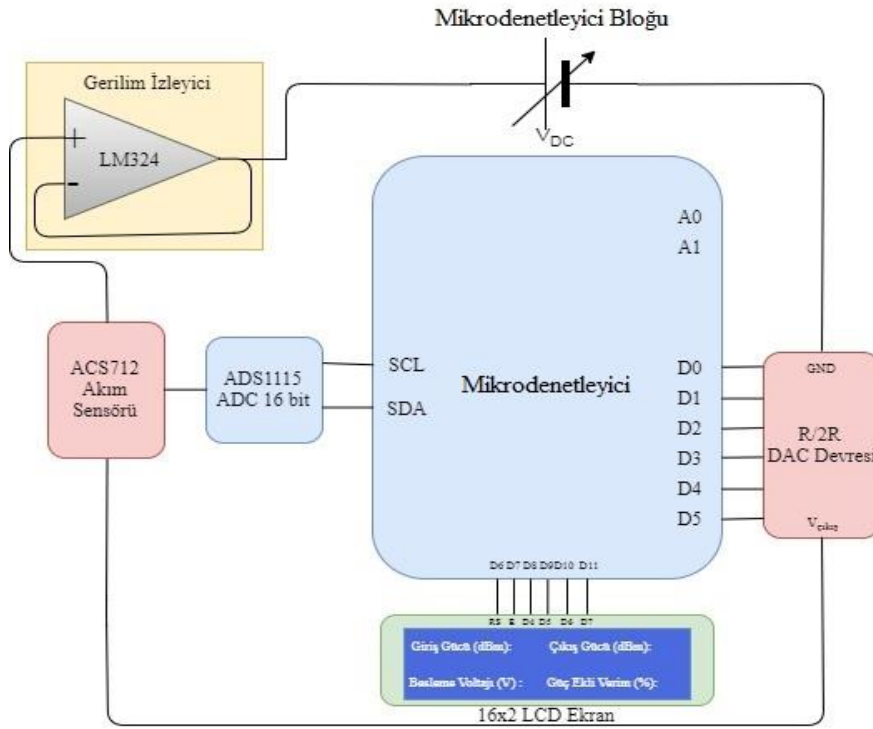
Şekil 1. Adaptif GY sistemi

Adaptif V_{DC} kontrol ünitesi GY sistemi, sistem giriş ve çıkışında kullanılan iki adet yönlü kuplör, iki adet RF güç dedektörü, mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu ve GY'den meydana gelmektedir. Sisteme adaptiflik özelliği kazandıran mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu ise, mikrodenetleyici, LM324'lü gerilim izleyici devresi, R/2R sayısal analog dönüştürücü (merdiven devresi),

ACS712 akım sensörü ve ADS 1115 16 bit analog sayısal dönüştürücü devrelerinden meydana gelmektedir. Ayrıca, $P_{giriş}$, $P_{çıkış}$, GEV (%) ve mikrodenetleyicili blok tarafından üretilen V_{DC} değerlerini yazdırmak üzere 16x2'lik LCD ekran kullanılmıştır. Adaptif GY sistemi Şekil 1'de, adaptif GY sistemi gerçekleştirilmiş hali Şekil 2'de, mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu ise Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Adaptif GY sistemi gerçekleştirilmiş hali

Şekil 3 Mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu

Şekil 1’de gösterilen, adaptif GY sisteminde, kuplörler, GY giriş ve çıkış güçlerinden örnek almak için kullanılmıştır. Yönlü kuplörler, 10 dB kuplaj katsayısı ile 5.8 GHz frekansında, mikroserit formda tasarlanmıştır. Tasarımda Keysight ADS simülatörü kullanılmıştır. Tasarlanan yönlü kuplör 1.6mm, 4.3 ϵ_r , FR₄ cam elyaf üzerine üretilmiştir. Yönlü kuplör S-parametreleri ölçümleri, Anritsu MS4624B vektör network analizörü ile yapılmıştır. Çalışmada LTC5508 RF güç dedektörü entegresi tercih edilmiştir. Dedektörler, 300 MHz-7 GHz frekans aralığında, 32 dBm ile 12 dBm RF güç skalasında kullanılmaktadır. 2.7V-6V arası gerilim değerleri ile kutuplanabilmektedir. 5.8 GHz frekansı için LTC5508’li güç dedektörü tasarımında dedektör veri kataloğundan yararlanılmıştır. Yönlü kuplörler gibi, sistem giriş ve çıkışında kullanılmak üzere iki güç dedektörü gerçekleştirilmiştir. Dedektörler FR₄ cam elyaf üzerine üretilmiş, her iki dedektörde de aynı değerli yüzey montajlı elemanlar kullanılmıştır.

Dedektörlerin, RF $P_{giriş}$ - DC $V_{çıkış}$ ölçümlerinde, SMF 100A RF sinyal jeneratörü ve DC voltmetre kullanılmıştır. RF güç dedektörleri, GY’nin RF giriş gücü ve çıkış gücü değerlerini, mikrodenetleyici için anlamlı olan gerilim bilgisine dönüştürmede kullanılmıştır. Akım sensörü ise GY tarafından çekilen akımı okumak için kullanılmıştır. RF güç dedektörleri ile okunan gerilim bilgileri (Volt) ve akım sensörü tarafından okunan akım bilgisi (Amper) mikrodenetleyiciye aktarılmaktadır. Dedektörler vasıtası ile mikrodenetleyiciye aktarılan gerilim bilgileri mikrodenetleyici içerisinde yeniden güce (dBm) dönüştürülmekte, kablo zayıflamaları (dB), kuplör iletim katsayıları (S_{21}) ve kuplör kuplaj katsayıları (S_{31}) da dikkate alınarak, GY $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ ’ları mikrodenetleyici tarafından hesaplanmaktadır. $P_{giriş}$ - $P_{çıkış}$ farkından GY’nin G ’si hesaplanmaktadır.

Çalışmada, GY doğrusallığını artırmak ve kazanç bozulmasını kompanze etmek amacıyla,

5 dB ve 10 dB'lik iki kazanç değeri seçilmiştir. Adaptif sistem ile GY'ye gelebilecek tüm RF $P_{giriş}$ değerleri için, GY G'sini 5 dB veya 10 dB'de sabit tutan, V_{DC} üretilmektedir. Akım sensöründen okunan akım bilgisi ile de GY P_{DC} ve GEV'i hesaplanmaktadır.

Çalışmada RF güç ölçümlerinde, Rohde&Schwarz SMF 100A RF sinyal jeneratörü ve Agilent ESA-E serisi E4405B 9 kHz-13.2 GHz spektrum analizörü kullanılmıştır.

Mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu

Daha önce de bahsedildiği gibi, Şekil 3'te gösterilen mikrodenetleyicili V_{DC} kontrol bloğu, mikrodenetleyici, sayısal analog dönüştürücü, analog sayısal dönüştürücü, gerilim izleyici ve akım sensöründen oluşmaktadır. Mikrodenetleyici dijital çıkış pinlerindeki sinyali, GY için anlamlı hale getirebilmek amacıyla, R/2R devresi tasarlanmış ve mikrodenetleyici dijital çıkış pinlerine entegre edilmiştir. GY maksimum DC çalışma gerilimi ile çalıştırıldığı zaman 70 mA'ya yakın akım çekmektedir. Mikrodenetleyici GY için yeterli akımı veremediğinden dolayı, R/2R devresinden sonra LM324'lü gerilim izleyici devresi kullanılmıştır. GY, gerilim izleyici devresi ile sürülmüştür. Akım sensörü ise adaptif sistemde GY tarafından çekilen akımı ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Akım sensöründen okunan analog akım bilgisi, analog sayısal dönüştürücü ile mikrodenetleyiciye aktarılmıştır.

Güç dedektörleri eğri uydurma işlemi

Daha önce de bahsedildiği ve Şekil 1'de gösterildiği gibi, adaptif sistem giriş ve çıkışında kullanılmak üzere iki güç dedektörü gerçekleştirilmiştir. Sistem giriş ve çıkışında kullanılan her iki güç dedektörü de aynı bakır plaka üzerine üretilmiş, aynı değerlerde yüzey montajlı elemanlar kullanılmıştır. Fakat giriş ve çıkış güç dedektörlerinin RF $P_{giriş}$ - DC $V_{çıkış}$ eğrilerinin küçük oranda birbirinden farklı oldukları görülmüştür. Bu farklılıktan dolayı her iki güç dedektörü için farklı eğri uydurma işlemi yapılmıştır.

Tasarlanan sistemde, giriş ve çıkış güç dedektörleri gerilim bilgileri mikrodenetleyici tarafından okunmaktadır. Volt cinsinden okunan gerilim bilgisi, mikrodenetleyici tarafından yeniden güce (dBm) dönüştürülmektedir. Mikrodenetleyici tarafından yapılan Volt-dBm dönüşümü için eğri uydurma işlemi sonucunda elde edilmiş matematiksel eşitlikler kullanılmıştır. Giriş ve çıkış dedektörlerinden okunan gerilim değerleri, eğri uydurma işlemi neticesinde elde edilmiş matematiksel eşitlikler ile güce dönüştürülmektedir. Giriş ve çıkış dedektörü güç değerleri, kuplör kuplaj katsayısı, iletim oranı, kablo zayıflamaları ile toplanarak GY giriş ve çıkışındaki RF güç değerleri hesaplanmıştır. GY $P_{çıkış}$ - $P_{giriş}$ farkını sabit değerlerde tutan V_{DC} gerilimlerinin üretilmesi, sisteme adaptiflik özelliği kazandırılmasının temelini teşkil ettiği için, giriş ve çıkış dedektörleri tarafından okunan gerilim bilgisi kritik öneme sahiptir. Çalışmada, giriş ve çıkış dedektörleri $P_{giriş}$ - $V_{çıkış}$ ölçüm eğrilerindeki bu çok küçük fark dikkate alınmıştır. Bu sebeple, eğri uydurma işlemi, giriş ve çıkış dedektörleri, $P_{giriş}$ - $V_{çıkış}$ grafikleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Bir sistemin performans analizi için matematiksel model oluşturabilmek çok önemlidir. Herhangi bir sistemin girişi ve çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için matematiksel modeller oluşturulur. Matematiksel modeller, deneysel yöntemler ile elde edilmiş veri setleri esas alınarak oluşturulur. Simülasyon, ölçüm, vb. yollarla elde edilen veri setleri kullanılarak, belirli bir hata oranı ile matematiksel modeller oluşturulur ve modele bağlı fonksiyonlar yazılır. Bu fonksiyonlar sayesinde, sistem hakkında bilgi sahibi olunur (Karadede 2014). Çalışmada, $P_{giriş}$ 'e karşılık $V_{çıkış}$ 'ı ölçülen güç dedektörlerinin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Dedektörlerin $P_{giriş}$ - $V_{çıkış}$ matematiksel modellerinin oluşturulması için doğrusal olmayan eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 1'de gösterilen adaptif sistemde, sinyal jeneratöründen alınan, RF giriş sinyali, yönlü kuplör ile bölünmektedir. Kuplörün iletim katsayısı (S_{21}) oranında gücün bir kısmı GY'ye,

kuplörün kuplaj katsayısı (S_{31}) oranında bir kısmı ise dedektöre aktarılmaktadır. Kuplörden dedektöre aktarılan güç, dedektör vasıtası ile gerilime dönüştürülmekte ve mikrodenetleyici analog girişi tarafından okunmaktadır. Okunan bu gerilim bilgisi ise eğri uydurma işlemi neticesinde elde edilmiş matematiksel fonksiyonlar ile mikrodenetleyici yazılımı tarafından güce (Watt'a) dönüştürülmektedir. Mikrodenetleyici tarafından hesaplanan güç değerlerine (dBm) kablo zayıflamaları, kuplör 2.port ve 3.port zayıflatma oranları eklenerek, GY $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ 'ı dBm olarak elde edilmektedir.

Çalışmada, dedektörlerin ölçülen RF $P_{giriş}$ -DC $V_{çıkış}$ verileri için tek bir eğri uydurma grafiğinin istenilen düzeyde başarı elde edemediği görülmüştür. Bu nedenle, ölçüm verileri gruplara ayrılarak, her bir grup için ayrı eğri uydurma işlemi yapılmıştır. Toplamda tüm verilerin ortalama beş farklı gruba ayrıldığı durumda, minimum hata ile en iyi sonuç elde

edilmiştir. Her bir grup için uydurulan eğrilerin doğruluk oranları ölçüldüğünde R^2 performans parametresi ortalama 0.99 olarak hesaplanmıştır. R^2 , RF güç değerleri Watt'a dönüştürülerek hesaplanmıştır. R^2 Denklem (4)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Tahmin_i - Ölçüm_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Ölçüm_i - Ölçüm_{ortalama})^2} \quad (4)$$

N , ölçülen örnek sayısını, $Tahmin_i$, i . örneğin eğri uydurma ile elde edilen değerini, $Ölçüm_i$, i . örneğin ölçülen değerini, $Ölçüm_{ortalama}$ ise, ölçülen değerlerin aritmetik ortalamasını temsil etmektedir.

Eğri uydurma işlemi neticesinde, giriş ve çıkış güç dedektörleri için elde edilen matematiksel fonksiyonlar sırasıyla (5) ve (6)'da gösterilmiştir.

$$f(P_{giriş}) = \begin{cases} -32 & 0 \leq V_{çıkış} < 300.5 \\ \frac{-0.71 * V_{çıkış}}{V_{çıkış} - 293.66} & 300.5 \leq V_{çıkış} < 303.0 \\ \frac{-265.23}{V_{çıkış} - 286.35} - 7.43 & 303.0 \leq V_{çıkış} < 370.0 \\ 1.26 * 10^{-3} * V_{çıkış} + 7.86 - \frac{6594.85}{V_{çıkış}} & 370.0 \leq V_{çıkış} < 1050.0 \\ \frac{-74825.30}{V_{çıkış}} + 2157.29 + 26.60 & 1050.0 \leq V_{çıkış} < 5000.0 \end{cases} \quad (5)$$

$$f(P_{giriş}) = \begin{cases} -32 & 0 \leq V_{çıkış} < 228.3 \\ -3.72 * 10^{-2} * V_{çıkış} - \frac{4.15 * 10^{-1} * V_{çıkış}}{V_{çıkış} - 224.35} & 228.3 \leq V_{çıkış} < 231.0 \\ \frac{-326.62}{V_{çıkış} - 210.69} - 7.19 & 231.0 \leq V_{çıkış} < 310.0 \\ 4.09 * 10^{-3} * V_{çıkış} + 2.67 - \frac{4177.24}{V_{çıkış}} & 310.0 \leq V_{çıkış} < 1055.0 \\ 1.68 * 10^{-3} * V_{çıkış} + 9.44 - \frac{8852.62}{V_{çıkış}} & 1055.0 \leq V_{çıkış} < 5000.0 \end{cases} \quad (6)$$

Eğri uydurma sonucunda elde edilen, $V_{\text{çıkış}}$ 'a bağlı $P_{\text{giriş}}$ fonksiyonları mikrodenetleyiciye yüklenmiştir. Güç dedektörleri tarafından algılanan $V_{\text{çıkış}}$ gerilim değerleri, bu fonksiyonlar ile güce dönüştürülmüştür.

GY Kazanç kontrolünde kullanılan formüller (7) ile (11) arasında verilmiştir. Burada, $P_{D1}(dBm)$ dBm cinsinden giriş güc dedektörüne gelen gücü, $P_{D2}(dBm)$ dBm cinsinden çıkış güc dedektörüne gelen gücü, $V_{D1}(V)$ giriş güc dedektörü tarafından okunan gerilim değerini, $V_{D2}(V)$ ise çıkış güc dedektörü tarafından okunan gerilim değerini ifade etmektedir. Zayıflama (dB) ise sistemde kullanılan kablo zayıflamalarını ifade etmektedir.

(7)-(11) arasındaki formüllerle hesaplanan kazanç değerine göre adaptif DC besleme bloğu $4.75 \text{ dB} < G(\text{dB}) < 5.25 \text{ dB}$ veya $9.75 \text{ dB} < G(\text{dB}) < 10.25 \text{ dB}$ şartlarını sağlayacak şekilde V_{DC} üretmektedir. GY verim kontrolünde ise (12), (13) ve (14)'teki eşitlikler kullanılmıştır. Burada, $P_{D1}(Watt)$ Watt olarak

giriş güc dedektörüne gelen gücü, $P_{D2}(Watt)$ Watt olarak çıkış güc dedektörüne gelen gücü ifade etmektedir. (12)-(14) arasındaki formüllerle hesaplanan GEV(%) değerine göre adaptif DC besleme bloğu GEV(%) performansı %7'den büyük olacak şekilde V_{DC} üretmektedir.

Uygulama ve başarımlar

Çalışmada, 5.8 GHz frekansı ile uyumlu, kazanç ve verim kontrollü adaptif GY sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem ile GY girişine gelmesi muhtemel RF giriş gücü değerlerinde, GY kazancını seçilen değerlerde sabit tutan V_{DC} gerilimi üretilmektedir. Çalışmada, GY'nin P_{1dB} noktasındaki kazanç değerlerinden daha düşük değerli sabit iki kazanç seçilmiştir.

$$P_{D1}(dBm) = f(V_{D1}(V)) \quad (7)$$

$$P_{D2}(dBm) = f(V_{D2}(V)) \quad (8)$$

$$P_{girişGY}(dBm) = P_{D1}(dBm) + C(dB) + Zayıflama(dB) \quad (9)$$

$$P_{çıkışGY}(dBm) = P_{D2}(dBm) + C(dB) + Zayıflama(dB) \quad (10)$$

$$G(dB) = P_{çıkışGY}(dBm) - P_{girişGY}(dBm) \quad (11)$$

$$P_{girişGY}(Watt) = \frac{10^{P_{girişGY}(dBm)}}{10^3} \quad (12)$$

$$P_{çıkışGY}(Watt) = \frac{10^{P_{çıkışGY}(dBm)}}{10^3} \quad (13)$$

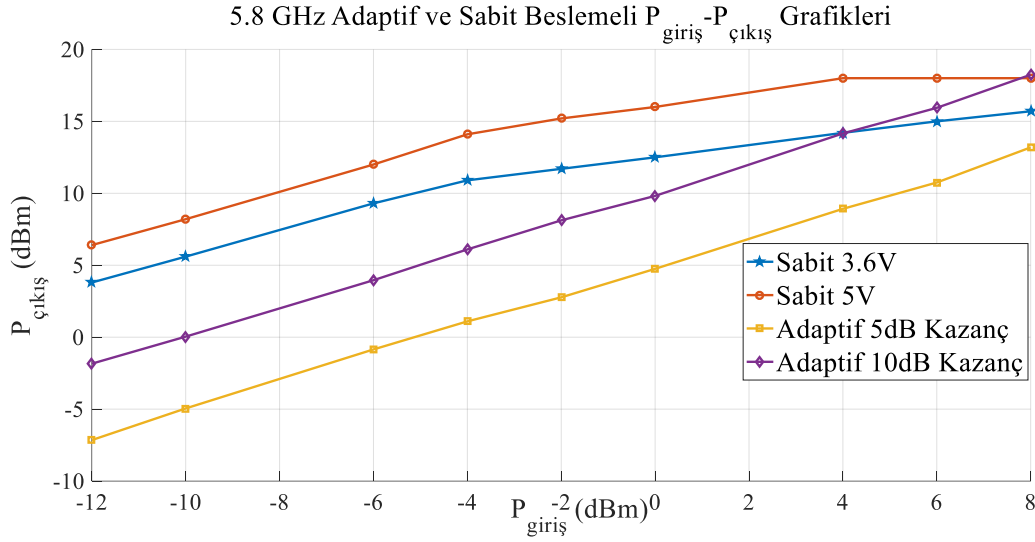
$$GEV(\%) = 100 * \frac{P_{çıkışGY}(Watt) - P_{girişGY}(Watt)}{P_{DC}} \quad (14)$$

Çalışmada, kazancın P_{1dB} noktasından daha düşük değerli seçilmesindeki amaç, GY kazanç bozulmasının önüne geçip, kazanç sıkışmasını kompanze ederek, GY doğrusallık performansının artırılmasıdır. Çalışmada GY'nin doğrusallık performansını artırmaya yönelik kazanç kontrolü dışında, GY DC güç tüketimini makul sınırlar içerisinde tutmak amacıyla verim kontrolü de yapılmıştır. Adaptif GY sistemi, ticari bir GY, yönlü kuplörler, RF güç dedektörleri ve mikrodenetleyicili adaptif V_{DC} kontrol bloğu ekipmanlarından oluşmaktadır. GY dışındaki tüm sistem elemanları ayrı ayrı tasarlanmış ve sistem entegrasyonu başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Tasarlanan adaptif sistem ile yapılan ölçümlerde, GY RF $P_{giriş}$ 'i, belirli değer aralıklarında değiştirilmiş, değişen $P_{giriş}$ 'e göre, GY kazancını seçilen değerlerde sabit tutan V_{DC} 'nin başarılı bir şekilde sistem tarafından üretildiği gözlenmiştir. Çalışmayı literatürdeki bu alanda yapılmış diğer çalışmalardan ayıran temel fark, çalışmada kullanılan GY'nin ayırık transistör yapıda olması, tüm sistem elemanlarının ayrı ayrı tasarlanarak sistem entegrasyonun başarılı bir şekilde tamamlanmış olmasıdır. Ayrıca sisteme yazılım olarak adaptiflik özelliği maliyet açısından oldukça düşük değerli bir mikrodenetleyici ile kazandırılmıştır. Literatürde adaptif DC beslemeli yapılar genellikle seri üretim gerektiren BMOYİ yapılar veya daha yüksek maliyetli FPGA ile gerçekleştirilmiştir.

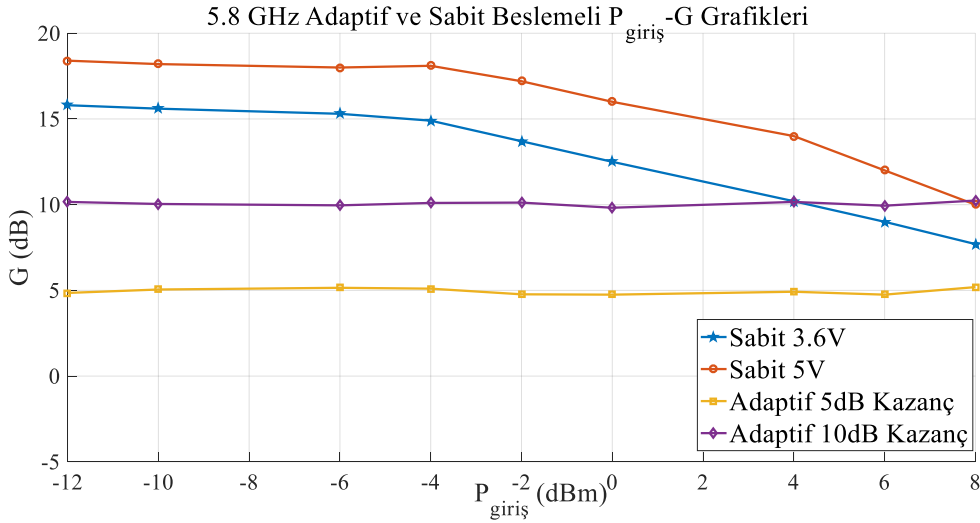
Çalışmadaki temelinde, doğrusallık performansının artırılması fikri olduğu için

kazanç kontrolü birinci öncelik olmuştur. Sabit kazanç değerleri 5 dB ve 10 dB olarak seçilmiştir. Adaptif sistem ile GY girişine gelmesi muhtemel RF $P_{giriş}$ aralığında, GY G'sini sabit 5 dB veya 10 dB'de tutacak V_{DC} gerilimleri üretilmektedir. Özetle, Adaptif sistem, GY $P_{giriş}$ ve $P_{çıkış}$ 'ını 200mS'lik periyotlar ile okumakta ve $P_{çıkış}-P_{giriş}$ farkını 5 dB veya 10 dB'de sabit tutacak V_{DC} üretmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, sabit ve adaptif beslemeli GY'nin, $P_{giriş}-P_{çıkış}$, $P_{giriş}-G$, $P_{giriş}-GEV(\%)$ ve $P_{giriş}-P_{DC}$ grafikleri ayrı ayrı verilmiştir. Bu sayede, sabit beslemeli ve adaptif beslemeli GY'nin performans parametreleri grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Besleme gerilim değerlerinin GY performansına olan etkisini incelemek amacıyla 3.6 V ve 5 V'luk iki sabit V_{DC} değeri seçilmiştir. GY, $P_{çıkış}$, G, GEV ve P_{DC} ölçümleri Sabit 3.6 V, Sabit 5V, Adaptif 5 dB Kazanç, Adaptif 10 dB Kazanç isimli grafikler ile karşılaştırılmıştır. Dedektörler, -30 dBm ile 12 dBm aralığındaki güç seviyelerinde çalıştıkları için, dedektörlere bu aralık dışında RF güç uygulanmamıştır. Dedektör girişlerine uygulanması gereken RF sinyal -36 dBm ile 12 dBm arasında olunca, kuplör ve dedektörden geçen ve kablo zayıflamalarına maruz kalan RF sinyal GY girişine -7 dBm ile 15 dBm arasında ulaşmaktadır. Bu sebeple GY $P_{giriş}$ 'i -7 dBm ile 15 dBm arasında ölçeklendirilmiştir.



Şekil 4. 5.8 GHz Sabit ve adaptif beslemeli $P_{giriş}$ - $P_{çıkış}$ grafikleri



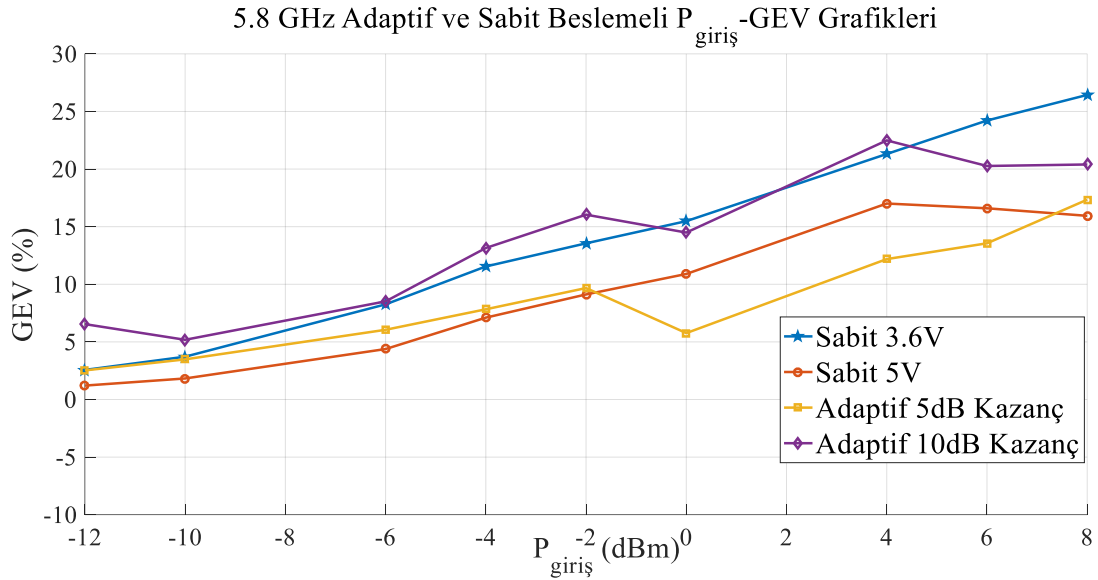
Şekil 5. 5.8 GHz Sabit ve adaptif beslemeli $P_{giriş}$ -G grafikleri

Sistemde, $P_{çıkış}$ ve akım ölçümleri değişen V_{DC} değerleri için csv dosyası olarak kayıt edilerek, csv dosyalarından alınan veriler ile grafikler çizdirilmiştir. 5.8 frekansında, sabit 3.6V V_{DC} ve sabit 5V V_{DC} beslemeli GY ile adaptif beslemeli 5 dB kazançlı GY ve adaptif beslemeli 10 dB kazançlı GY, $P_{giriş}$ - $P_{çıkış}$ $P_{giriş}$ -G grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te karşılaştırılmıştır.

Şekil 4 ve Şekil 5'e göre, sabit 3.6V V_{DC} için, -5 dBm'lik $P_{giriş}$ P_{1dB} değerinde, GY 10 dBm $P_{çıkış}$ ve 15 dB G'ye sahiptir. 5V V_{DC} için ise -1 dBm $P_{giriş}$ P_{1dB} değerinde, GY 15.4 dBm $P_{çıkış}$ ve 16.4 dB G'ye sahiptir. Adaptif 5 dB kazançlı GY'nin G'si, -12 dBm ile 8 dBm $P_{giriş}$ aralığında sabit olup, 5 dB iken, GY $P_{çıkış}$ 'ı $P_{giriş}$ seviyesinin, 5 dB fazlası olarak değişmektedir. Benzer şekilde adaptif 10 dB kazançlı GY'nin, G'si, -12 dBm ile 8 dBm $P_{giriş}$ aralığında sabit 10 dB olup, $P_{çıkış}$, GY girişine gelen $P_{giriş}$ 'in 10 dB fazlası

olacak şekilde değişmektedir. Sabit ve adaptif beslemeli GY, $P_{\text{çıkış}}$ ve G performansları karşılaştırıldığında, sabit beslemeli GY'nin $P_{1\text{dB}}$ noktasındaki $P_{\text{çıkış}}$ ve G değerlerinin, adaptif beslemeli GY'nin $P_{\text{çıkış}}$ ve G 'sinden yüksek olduğu görülmektedir. Fakat çalışılan -12 dBm ile 8 dBm $P_{\text{giriş}}$ aralığındaki, kazanç sıkışması incelendiğinde, adaptif beslemeli sistemin, sabit beslemeli sisteme göre, çok daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. Sabit 3.6V beslemeli GY kazanç sıkışması yaklaşık 10 dB, sabit 5V beslemeli GY kazanç sıkışması yaklaşık 8 dB'dir. Adaptif beslemeli GY için ise kazanç sıkışması, maksimum 0.5 dB olacak şekilde programlanmıştır. Bu durumda, örneğin,

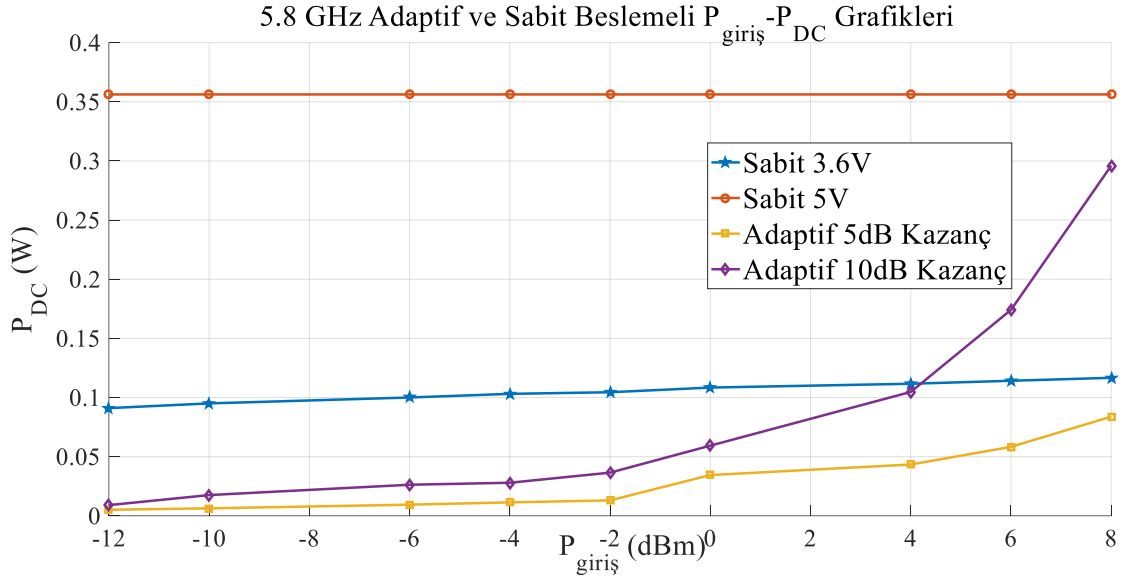
sabit 5V beslemeli GY'ye -1 dBm'den yüksek RF $P_{\text{giriş}}$ değerlerinde RF sinyal uygulandığında, GY doğrusal davranışı bozulacak, GY'ye uygulanan RF sinyal ısıya ve Modülasyonlar Arası Bozunum (MAB-IMD) ürünlerine dönüşüp, sistem performansı bozulacaktır. GY'nin adaptif beslemeli yapı ile entegrasyonu neticesinde, bu sorun ortadan kaldırılmıştır. Adaptif beslemeli GY'nin, -12 dBm ile 8 dBm'lik $P_{\text{giriş}}$ skalasında GY kazanç sıkışması maksimum 0.5 dB olacağı için, adaptif sistem ile GY kazanç sıkışması kompanze edilmiştir. Özetle adaptif besleme ile GY kazanç sıkışması kompanze edilmiş, doğrusallık performansı artırılmıştır.



Şekil 6. 5.8 GHz Sabit ve adaptif beslemeli GY $P_{\text{giriş}}$ -GEV(%) grafikleri

Şekil 6'daki Sabit ve adaptif beslemeli GY $P_{\text{giriş}}$ -GEV davranışları karşılaştırıldığında, sabit 3.6V için, GY -5 dBm'lik $P_{1\text{dB}}$ $P_{\text{giriş}}$ seviyesinde, %10.64'lük GEV'e, sabit 5V beslemeli GY %4'lük GEV'e adaptif 5 dB kazançlı GY %7'lik GEV'e, adaptif 10 dB kazançlı GY %11'lik GEV'e sahiptir. Sabit 5V besleme için GY, -1 dBm'lik $P_{1\text{dB}}$ $P_{\text{giriş}}$ seviyesinde, %9.680'lik

GEV'e, adaptif 5 dB kazançlı GY %9'lük GEV'e, adaptif 10 dB kazançlı GY ise %15'lik GEV'e sahiptir. $P_{1\text{dB}}$ noktasında adaptif beslemeli 10 dB kazançlı GY GEV performansının, sabit 3.6V ve sabit 5V beslemeli GY GEV performanslarından daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 7. 5.8 GHz Sabit ve adaptif beslemeli GY $P_{giriş}$ - P_{DC} (%) grafikler

(-12 dBm-8 dBm) GY $P_{giriş}$ aralığı incelendiğinde ise sabit 3.6V, 5V ve adaptif beslemeli 5 dB kazançlı GY GEV performanslarının birbirine yakın olduğu, adaptif beslemeli 10 dB kazançlı GY'nin ise en iyi GEV performansa sahip olduğu görülmüştür. Adaptif beslemeli sistem ile GY doğrusallık performansı haricinde GEV performansı da artırılmıştır.

Sabit ve adaptif beslemeli GY'nin, $P_{çıkış}$, G, GEV performansları haricinde, Şekil 7'deki $P_{giriş}$ - P_{DC} grafikleri incelendiğinde, 3.6V beslemeli GY'nin (-12 dBm-8 dBm) $P_{giriş}$ aralığında, 0.1W P_{DC} 'ye, 5V beslemeli GY'nin ise 0.35W P_{DC} 'ye sahip olduğu görülmüştür. Adaptif beslemeli 5 dB kazançlı GY'nin -5 dBm $P_{giriş}$ için 10mW P_{DC} 'ye, -1 dBm $P_{giriş}$ için ise 23mW P_{DC} 'ye sahip olduğu görülmüştür. Adaptif beslemeli 10 dB kazançlı GY ise, -5 dBm $P_{giriş}$ değerinde yaklaşık 10mW, -1 dBm $P_{giriş}$ değerinde ise 48mW güç tüketimine sahiptir. Ayrıca (-12 dBm-8 dBm) $P_{giriş}$ aralığında, adaptif beslemeli 5 dB kazançlı GY'nin sabit 3.6V beslemeli GY'den daha düşük güç tüketimine, adaptif 10 dB GY'nin ise, sabit 5V beslemeli GY'den daha düşük güç tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Ölçülen $P_{giriş}$ - P_{DC} değerlerine göre, çalışmada tasarlanan,

adaptif beslemeli sistemin GY güç tüketimini azalttığı görülmüştür. Adaptif sistem ile azalan güç tüketimi ile GY ısıl duyarlılığı da artırılmıştır.

Sonuçlar ve tartışma

Çalışmada, 5.8 GHz frekansında, kazanç ve verim kontrollü adaptif DC beslemeli GY tasarımı yapılmıştır. Adaptif sistem, GY modülü, mikrodnetleyicili V_{DC} kontrol bloğu, yönlü kuplör ve RF güç dedektörlerinden oluşmaktadır. Sisteme adaptiflik özelliği mikrodnetleyici ile kazandırılmıştır. Mikrodnetleyicili V_{DC} kontrol bloğu için de kendi içerisinde çeşitli elektronik devreler tasarlanmıştır. R/2R sayısal analog dönüştürücü, gerilim izleyici devresi, GY ile birlikte mikrodnetleyiciye entegre edilerek, istenilen V_{DC} gerilimleri elde edilmiştir. GY verimi ve güç tüketiminin hesaplanması amacıyla sistemde bir adet akım sensörü de kullanılmıştır. Mikrodnetleyici yazılımı ile sisteme adaptiflik özelliği kazandırılmıştır.

Çalışmada tasarlanan adaptif sistem ile GY doğrusallık performansı, GY kazancı kontrol edilerek artırılmıştır. Adaptif sistem tasarımındaki ana amaç GY doğrusallık

performansının artırılmasıdır. GY doğrusallık performansının artırılması amacıyla P_{1dB} noktasından düşük değerli, birisi 5 dB diğeri 10 dB olmak üzere iki kazanç seçilmiştir. Sistem ile GY girişine gelmesi muhtemel RF giriş gücü değerlerinde, GY kazancını, 5 dB ve 10 dB değerlerinde sabit tutacak V_{DC} gerilimleri adaptif olarak üretilmiştir. Bu sayede, GY kazancının P_{1dB} noktasına ulaşmasının önüne geçilmiş, GY kazanç sıkışması kompanse edilmiştir.

Ayrıca, çalışmada tasarlanan adaptif sistem ile GY kazancı haricinde verimi de kontrol edilerek GY veriminin belirli bir değerde tutulması sağlanmıştır.

Çalışmada tasarlanan adaptif beslemeli sistem sayesinde GY kazanç sıkışma davranışı %95 oranında iyileştirilmiştir. GY güç tüketimi ise % 85 oranında azaltılmıştır. Ayrıca 5V sabit beslemeye göre adaptif besleme yapısı ile GY GEV davranışı %50 oranında artırılmıştır.

Sonuç olarak, 5.8 GHz frekans uygulamalarında kullanılacak olan GY'nin, verim ve doğrusallık performansı adaptif besleme yöntemi ile iyileştirilmiştir. Adaptif besleme yapısı ile doğrusallığı artırılmış, geniş dinamik aralıklı, düşük P_{DC} 'ye sahip GY elde edilmiştir.

Teşekkür

Çalışmanın tamamlanmasında, lojistik destek sağlayan Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM)'a (Proje No: DPT-2007K120530) teşekkür ederim.

Kaynaklar

Ashraf, A., Ashraf, S., Rizvi, N. Z., Singh, M. ve Srivastava, P., (2016). Class E power amplifier: Implementation and comparative analysis at 1.7 GHz and 2.4 GHz. *Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), International Conference on, IEEE*.

Cao, T., Huang, F., Zhang, Q. ve Liu, Y., (2018). High efficiency and wideband hybrid envelope amplifier for envelope tracking operation of

wireless transmitter. *2018 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*.

Chen, C.-Q., Hao, M.-L., Li, Z.-Q., Du, Z. ve Yang, H., (2016). A 1.8-2.8 GHz highly linear broadband power amplifier for LTE-A application. *Progress In Electromagnetics Research C* **66**: 47-54.

Chen, P.-H. ve P. M.-Y. Fan, (2015). An 83.4% Peak Efficiency Single-Inductor Multiple-Output Based Adaptive Gate Biasing DC-DC Converter for Thermoelectric Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* **62**(2): 405-412.

Chen, S., Wang, G., Cheng, Z., Qin, P. ve Xue, Q., (2017). Adaptively Biased 60-GHz Doherty Power Amplifier in 65-nm CMOS. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* **27**(3): 296-298.

Cho, Y., Moon, K., Kim, J., Park, B. ve Kim, B., (2016). Linear Doherty power amplifier with adaptive bias circuit for average power-tracking. *Microwave Symposium (IMS), 2016 IEEE MTT-S International, IEEE*.

Couturier, A. M., Byk, E., Auvinet, C., Tranchant, S., Auxemery, P., Camiade, M., ... Stieglauer, H., (2013). E-band medium power amplifiers with gain control and output power detector. *2013 European Microwave Integrated Circuit Conference*.

Cripps, S. C. (2002). *Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design*. Artech House.

Gecan, D., Olavsbråten, M. ve Gjertsen, K. M. (2016). Measured linearity improvement of 10 W GaN HEMT PA with dynamic gate biasing technique for flat transfer phase. *Microwave Symposium (IMS), 2016 IEEE MTT-S International, IEEE*.

Giofrè, R., Colantonio, P. ve Giannini, F., (2018). A Design Approach to Maximize the Efficiency vs. Linearity Trade-Off in Fixed and Modulated Load GaN Power Amplifiers. *IEEE Access* **6**: 9247-9255.

Hwang, H., Yang, S. ve Seo, C., (2012). High gain and high PAE power amplifier by employing adaptive bias control circuit for resonant WPT. *2012 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings*.

Jaiswal, S., Singh, P. P., Srivastava, S., Arora, R., ve Bharadhwaj, P. S., (2015). An algorithm implementation for gain control and power compensation in power amplifiers. *2015 International Conference on Microwave, Optical and Communication Engineering (ICMOCE)*.

- Jędrzejewski, K., Rosolowski, D. W. ve Wojtasiak, W., (2018). Impact of transistor DC operating condition on effectiveness of PA digital predistortion. *2018 22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON)*.
- Jin, S., Park, B., Moon, K., Kwon, M. ve Kim, B., (2013). Linearization of CMOS cascode power amplifiers through adaptive bias control. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* **61**(12): 4534-4543.
- Karadede, Y., (2014). Eğri Uydurma Problemlerine Melez Algoritma Yaklaşımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kim, H., Cho, H., Kim, M., Seo, M., Ham, J., Park, C.-S.,.....Jung, S., (2013). "Efficiency enhanced amplifier using a digitally-controlled dynamic bias switching circuit." *Microwave Journal* **56**(5): 106-120.
- Lee, S., Lee, S., Kang, S. ve Hong, S., (2017). "A 1.7-GHz GaN MMIC Doherty power amplifier using an adaptive bias circuit with a quadrature coupler." *Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), 2017 IEEE International Symposium*, 90-92.
- Li, P., Xia, Q., Chen, Z. ve Geng, L., (2018). High efficiency triple-stacked class-E power amplifier with novel dynamic biasing network. *2018 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*.
- Seth, S., Kwon, D. H., Venugopalan, S., Son, S. W., Zuo, Y., Bhagavatula, V.,.....Cho, T. B., (2016). "A Dynamically Biased Multiband 2G/3G/4G Cellular Transmitter in 28 nm CMOS." *IEEE Journal of Solid-State Circuits* **51**(5): 1096-1108.
- Tsai, M.-D., Lin, C.-C., Chen, P.-Y., Chang, T.-Y., Tseng, C.-W., Lin, L.-C.,.....Chiu, C.-S., (2017). 13.1 A fully integrated multimode front-end module for GSM/EDGE/TD-SCDMA/TD-LTE applications using a Class-F CMOS power amplifier. *2017 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*.
- Yusoff, Z., Annuar, F. M., Kung, F., Hashim, S. J., Lees, J. ve Cripps, S. C., (2016). The effect of tracking generator efficiency to overall RF power amplifier system efficiency. *IEEE 2016 International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*.

5.8 GHz Adaptive Power Amplifier Design

Extended abstract

Power Amplifiers (PAs) are used in transmitting units of wireless communication systems. They are critical and important elements that are expected to produce a suitable output power at a good linearity, efficiency and gain. In general, PA performance is divided into two categories as linearity and efficiency performance. PA linearity performance is important, because linearity is indicative, in terms of how much of the RF input signal applied to the PA delivered to the output of PA. PA operation regions are divided into two regions as linear and nonlinear. In the linear region, RF signal applied to the PA is converted to RF output signal with minimum distortion and maximum gain. In nonlinear region, a large part of the input signal applied to the PA transforms into heat and IMD products. It is expected that the gain of PA will be constant for all possible Input Power (P_{input}) values at PA. However, after a certain P_{input} value, linear behavior of PA deteriorates and the gain starts to decrease. The point where gain decrease is 1 dB is called 1 dB gain compression point (P_{1dB}). This point is called the upper bound of the PA linear operation region. From this point, the PA linear operation is distorted and the PA gain falls increasingly. It is desirable that the P_{input} and Output Power (P_{output}) values at the P_{1dB} point be as high as possible. Another important parameter, except linearity yielding information about PA performance is efficiency. The efficiency is a measurement that RF P_{input} is converted to RF P_{output} with how much Power Dissipation (P_{DC}). For PAs, the efficiency is expressed as the ratio of P_{output} to P_{DC} . Power Added Efficiency (PAE) is another efficiency criteria that is ratio of difference of P_{output} and P_{input} to P_{DC} . A high PAE value indicates that high PA gain can be achieved with low P_{DC} values. Therefore for this reason it is desirable to be high as possible. Generally, linearity and the efficiency performance of PA exhibit a inversely proportional change. There is a tradeoff between these two parameters. Namely, for PAs, if linearity performance of PA is to be improved, this leads to a decrease in efficiency. Similarly, if efficiency is to be improved, this reduces linearity performance of PA. It is known that the linearity and efficiency behavior of PA change according to the RF input signal and DC biasing conditions of PA. There are a lot of studies

in literature about this tradeoff. RF input signals or DC biasing conditions of PA are changed to improve linearity or efficiency or both in literature. Usually, RF input signal is changed to improve linearity; DC biasing conditions are changed to improve linearity and/or efficiency. In this work, with this knowledge, we changed DC biasing conditions (V_{DC}) of PA adaptively to improve linearity performance of PA without compromising efficiency.

In this study, two constant gain values were chosen to compensate distorted linear behavior of PA from the P_{1dB} point relative to the increasing P_{input} . In the P_{input} scale, which is likely to come to input of PA, an adaptive system is designed which produce V_{DC} that keeps the GY gain constant at the selected gain values. With the designed adaptive system, only gain control is not performed to increase linearity behavior of PA, PAE control of PA has performed also to keep PAE of PA at a certain value range.

Adaptive PA system is designed for 5.8 GHz in this study. Adaptive PA system consist of a PA-SBB5089Z PA module-, an adaptive V_{DC} control block with microcontroller, directional couplers, LTC 5508 RF power detectors and connections cables. Adaptive V_{DC} control block is formed from a microcontroller, an R/2R digital analogue convertor, a voltage follower circuit with LM324, ACS712 current sensor and a 16 bit ADSA 1115 analogue digital convertor. Adaptivity has gained to system with microcontroller software. A 16x2 LCD display is used to print the P_{input} , P_{output} , PAE (%) and V_{DC} values generated by microcontroller. RF P_{input} and P_{output} of PA is read instantaneously with designed adaptive system. Also, V_{DC} is produced that will keep the difference of P_{output} and P_{input} at any constant gain values of the 5 dB and 10 dB. In addition to the gain control with the adaptive system, efficiency control is also performed to keep PAE a certain value.

Gain reduction behavior of PA was improved by 95% and P_{DC} was improved by 85% with designed adaptive system. Also PAE behavior of PA was increased by 50% with adaptive biasing with respect to fixed biasing. As a result, with the adaptive system, linear, wide dynamic range, low P_{DC} PA is obtained at 5.8 GHz.

Keywords: adaptive power amplifier, 5.8 GHz, DC conditions, gain control with microcontroller, P_{1dB} .



Yakıt Pili Uygulamaları için Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresinin Tasarımı

Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN*

Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
akbilhan@nevsehir.edu.tr ORCID: 0000-0002-5008-6784, Tel: (384) 228 10 00 (15058)

Geliş: 15.02.2019, Revizyon: 10.05.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

Öz

Enerji talebine olan ihtiyacın gün geçtikçe artması, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve güvenilir ve temiz enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacın artması sebebiyle, alternatif enerji kaynaklarına ve bunların verimli kullanılmaları için gerekli olan devre yapıları üzerinde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yakıt pilleri ve fotovoltaik hücrelerin tek bir hücrelerinden elde edilen gerilimlerin düşük olması sebebiyle seri yada paralel yapılar geliştirilerek çıkışlarında elde edilen gerilimlerin yükseltilmesi gerekmektedir. Ancak bu durum büyük güçlü uygulamalarda hem boyutu hem de maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle gerek yakıt pilleri, gerek fotovoltaik paneller gerek ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gerilimin büyük güç uygulamalarında kullanılabilmesi için çeşitli dönüştürücü devreleri kullanılmaktadır. Çeşitli şekillerde (yükseltici, düşürücü vb.) tasarlanan DA/DA dönüştürücü devreleri daha yüksek doğru gerilim elde etmede kullanılırken, DA/AA dönüştürücüleri ise alternatif gerilimin gerekli olduğu devreler için tercih edilmektedir.

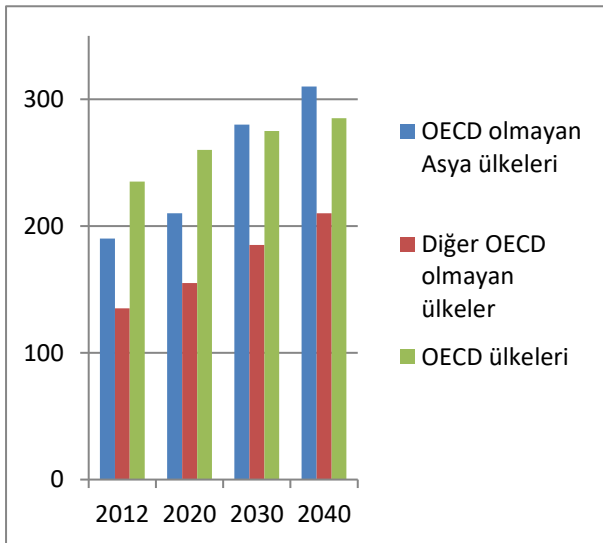
Bu çalışmada, günümüzde tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırken karşılaşılan sorunlardan biri olan düşük çıkış gerilimin yükseltilmesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada besleme kaynağı olarak yakıt pili kullanılan bir sistem için kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresinin çalışması açıklanarak klasik DA/DA dönüştürücü devresiyle karşılaştırılmaktadır. Özellikle yüksek çıkış geriliminin ihtiyaç duyulduğu uygulamalarda tercih edilen bu devreler gerilim kazancını belirli oranda artırmaktadır. MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilen modeller de aynı değerlerde sabit görev periyodu için çıkış gerilim dalga şekilleri incelenerek kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi ile daha yüksek gerilim seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yükseltici dönüştürücü, yakıt pili, gerilim kazancı;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalarla, fosil yakıtların kullanımının çevre kirliliğine ve aynı zamanda büyük oranda ekolojik sorunlara neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Fosil yakıtlar özellikle çevreyi kirletmekte ve iklim değişikliğine neden olacak şekilde olumsuz etkilerde bulunmaktadır (Yang vd., 2015; Nejabatkhah, 2012; Juan, 2011; Chen, vd., 2013; Thounthong, vd., 2010). Ayrıca, fosil yakıt kaynakları ile küresel enerji talebi arasındaki uçurum son bir kaç yıl içerisinde artış göstermiş ve gerek konutlardaki (sanayi vb.) hem ısınma hem de elektrik üretiminde kullanılması gerek ise araçlarda kullanımı sırasında önemli bir fiyat artışına sebep olmaktadır. Şekil 1 ile ABD Enerji Bilgi Yönetimi (ÇED) tarafından 2016 yılında yayınlanan 2040 yılına kadar tahmini enerji kullanım oranlarını gösterilmektedir (U.S., 2016).



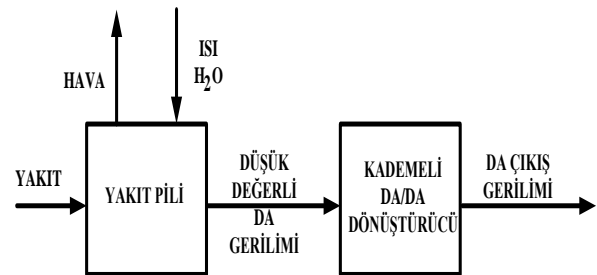
Şekil 1. 2012-2040 yılları arasında ülke gruplarına göre enerji tüketimi (katrilyon Btu)

Şekil 1 ile verilen dağılım incelendiğinde 2012 yılında toplam enerji tüketiminin 549 katrilyon Btu seviyesinden 2040 yılında 815 katrilyon Btu seviyesine yükseleceği öngörülmektedir. Bu artışta özellikle ekonomik büyümenin gerçekleştiği OECD'ye (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'ne) üye olmayan ülkelerde olacağı belirtilmektedir. Ayrıca yapılan bu

çalışmada, 2012 ile 2040 yılları arasında OECD'ye dahil olan ülkelerde enerji tüketimi %18 artarken, dahil olmayan ülkelerde bu oran %71 olarak karşımıza çıkmaktadır (U.S., 2016).

Fosil yakıtların olumsuz etkileri ve enerjiye olan ihtiyaç araştırmacıları rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller, yakıt hücresi, jeotermal vb. gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları alanında araştırmaya teşvik etmiştir (Sangwongwanich, vd., 2018; Partridge, 2018, Devrim, vd., 2015). Ancak yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının coğrafi konuma, iklim koşullarına ve çok geniş bir arazi gereksinim olduğunu göstermiştir (Rugolo, vd., 2012). Bu nedenle kullanılan temiz enerji kaynağının yanı sıra, güç dönüştürücülerinin modellenmesi de oldukça önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Alternatif enerji kaynağından elde edilen gerilimin, kullanılacak sisteme uygun olarak yaklaşık birkaç yüz ya da birkaç bin volta çıkarılması gerekebilir. Bu amaçla DA/DA dönüştürücü, çift yönlü DA/DA dönüştürücü veya DA/AA eviricilerinden birinin kullanımı sistemin hem kararlılığını artıracak hem de istenilen gerilim seviyesine ulaşılmış olacaktır.

Bu çalışmada yakıt pilinin çalışması ile elde edilen düşük gerilim bir kademeli yükseltici DA/DA kullanılarak artırılabilecektir. Tasarlanan devrenin blok şeması Şekil 2 ile gösterilmektedir.



Şekil 2. Sistem blok şeması

Yakıt Pilleri

Yakıt hücreleri bir oksidana ait kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren birer elektrokimyasal

dönüştürücülerdir. Yakıt hücresinin çalışma prensibi pil ile neredeyse aynıdır, ancak bir pilden farklı olarak, yakıt hücresi sürekli olarak çalışan bir enerji kaynağıdır.

Yakıt hücrelerinin kaynağı olarak hidrokarbonlar ve alkoller sayılabilir de yine de en bilinen yakıt pili kaynağı hidrojen (Hoogers, 2003). Hidrojen doğal bir yakıt olmamakla birlikte; su, kömür, doğal gaz vb. hammaddeler kullanılarak üretilebilecek olan bir yakıt türüdür. Günümüzde hidrojen çoğunlukla, doğal gazdan buhar olarak elde edilmektedir. En bilinen yöntem olarak suyun elektrolizi ile de üretilebileceği gibi ekonomik olarak henüz ucuz bir yöntem değildir.

Hidrojen; sanayi, ev ya da taşıt gibi uygulamalarda kullanılabilen, kolaylıkla ısı ve elektrik enerjisi üretilen, çevreye zarar vermeyen bir yakıt türüdür. Yakıt olarak kullanılmasının sonucunda ortaya çıkan artık ürün sadece su ve su buharı olmaktadır.

Yakıt pillerini oluşturulan yakıt hücrelerinde (YH - Fuel Cell (FC)) kullanılan elektrolit birkaç farklı açıdan sınıflandırılabilir. Çalışma sıcaklığı, elektrolit ve özelliklerine göre yakıt hücreleri; Alkali yakıt hücresi (AFC), Proton değişim membran yakıt hücresi (PEMFC), Doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC), Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC), Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC) ve Katı Oksit Yakıt hücresi (SOFC) olarak sınıflandırılabilir (Balakrishnan, 2007; Ali, vd., 2006; Laughton, 2002). Proton Değişim Membran yakıt hücreleri (PEMFC), özellikle 1960 yıllardan sonra kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de kullanımı oldukça popüler olan bir yakıt hücresi çeşididir. Şekil 3 ile PEM yakıt pilinin çalışmasına ait devre yapısı ve buna uygun elektriksel devre modeli gösterilmektedir.

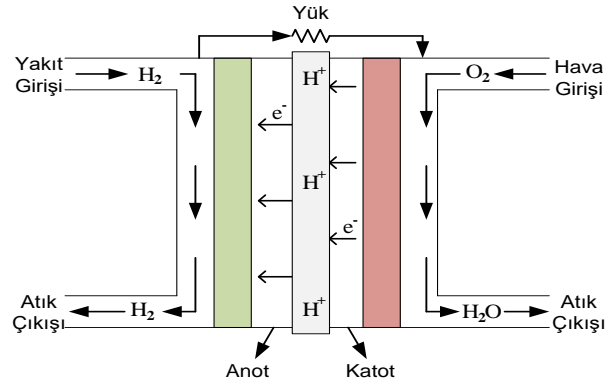
Şekil 3 (a) ile gösterilen PEM hücresine ait şematik diyagramda; anot ve katodu birbirinden ayıran elektrolit iletken bir malzemedir meydana gelmektedir. Anot tarafında; hidrojen elektronlara ve iyonlarına ayrılır. Elektronlar harici bir elektrik devresinden akarken, iyonlar

elektrolitten geçerler. Bu hidrojen iyonları katottaki oksijenle birleşir ve yeniden elektronlarla birleşerek atık olarak su oluştururlar. Anot ve katot arasında meydana gelen reaksiyon ise Denklem 1 ile gösterilmektedir (Nehir, vd., 2009).

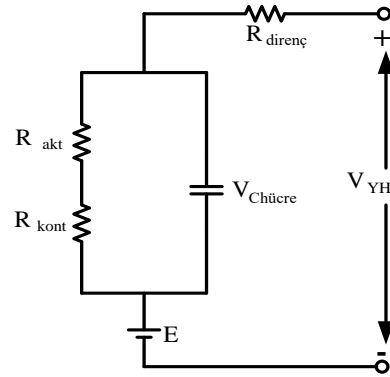
Anot Reaksiyonu: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Katot Reaksiyonu: $\frac{1}{2} O_2 + 2H + 2e^- \rightarrow H_2O + Isı$ (1)

Tüm Reaksiyon: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + Isı$



(a)



(b)

Şekil 3. PEM yakıt pilinin (a) yapısı, (b) Elektriksel eşdeğer devre modeli

Şekil 3 (b) de belirtilen elektriksel eşdeğer devrede $R_{direnç}$ YH sıcaklığının bir fonksiyonunu, R_{kont} ve R_{akt} sırasıyla yoğunlaşma ve aktivasyon gerilimlerinin bileşenlerini göstermektedir. Tek bir YH için çıkış gerilim değeri Denklem 2 ile hesaplanabilir (Nehir, vd., 2009).

$$V_{YH} = E - V_{akt} - V_{direnç} - V_{kont} \quad (2)$$

Denklem 2'de görülen gerilim azalmalarının sebebi; yük akımı, YH sıcaklığının veya

basıncının fonksiyonundan dolayıdır. V_{YH} ; tek bir hücre için çıkış gerilim değerini, E ; YH açık devre gerilimini, V_{akt} ; aktivasyon gerilim kaybını, V_{kont} ; yoğunluk veya kütle gerilim kaybını ve V_{direnc} ; elektrotlar ve membran üzerindeki gerilim kaybını göstermektedir (Milanovic, vd., 2012). Nerst termodinamik denkleminde E ise Denklem 3 ile hesaplanır;

$$E = 1.229 - 0.85 \times 10^{-3} (T - T_{ref}) + \frac{R.T}{2.F} (\ln(P_{H_2} \sqrt{P_{O_2}})) \quad (3)$$

Bu denklemde 1.229V değeri tek bir hücre için ters çevrilebilir en yakın gerilim değeridir, T referans ortam sıcaklığını belirtmek için kullanılırken (K cinsinden), T_{ref} 298,15⁰K olarak kabul edilir. P_{H_2} kısmi hidrojen basıncını (atm) ve P_{O_2} kısmi oksijen basıncını (atm) gösterirken $F= 96485.3$ C/mol Faraday sabiti, $R=8.314$ J/molK evrensel gaz sabiti olarak denklemlerde kullanılır.

Bir YH'deki gerilim ve akım arasındaki bağıntı ise Denklem 4 ile gösterilmektedir.

$$V_{YH} = E - AT \ln \left(\frac{I_{YH}}{I_0} \right) - BT \ln \left(\frac{I_L - I_{YH}}{I_L} \right) - I_{YH} R_{int} \quad (4)$$

Bu denklemde yine V_{YH} ; tek bir hücre için çıkış gerilim değerini ve E ; YH açık devre gerilimini ifade ederken, I_{YH} yakıt hücresi çıkış akımını, I_0 değişim akımını, I_L sınırlayıcı akımı, R_{int} iç direnci, A aktivasyon katsayısını ve B , yoğunlaşma katsayısını göstermek için kullanılır. Ayrıca, E , A ve B , yakıt hücresinin çalışma sıcaklığına bağlı iken, yakıt hücresindeki iç direnç R_{int} , membran karakteristiğine bağlıdır (Samosir, vd., 2010).

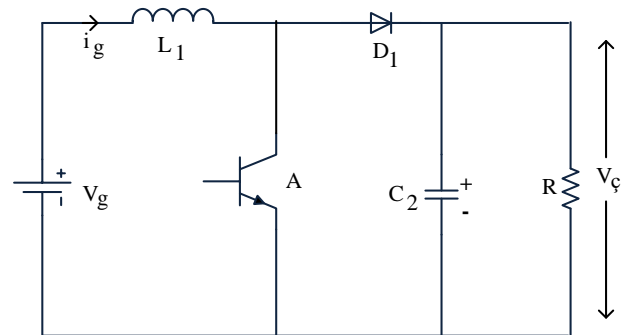
Teorik olarak, H_2 ve O_2 'nin reaksiyonu, 1.23 V'luk bir gerilim üretmektedir, ancak pratikte, bir yakıt hücresi birim hücresinden üretilen gerçek gerilim bundan daha azdır. Nominal akımda, tek bir hücrede 0.6 V'den 0.7 V'a kadar bir gerilim üretilir. Arzu edilen enerji miktarını elde etmek için, yakıt hücreleri seri ve/veya paralel olarak bağlanabilirler. Seri bağlantıda

daha yüksek gerilim değerine ulaşılırken, paralel bağlantıda daha yüksek bir akım değerine ulaşılır. Böyle bir tasarıma yakıt hücresi yığını adı verilir.

Geleneksel yakıt hücresi modelleri modelleme boyutuna ve modelleme alanına göre sınıflandırılabilir. Farklı modeller, elektrokimyasal, akışkan ve termal alanları çiftleştirebilen tek boyutlu ile üç boyutlu arasında değişebilir. Karmaşık bir yakıt hücresi modeli, daha yüksek bir doğruluğa sahipken, taşıt uygulamaları için, basit eşdeğer devre modelleri genellikle basitlikten dolayı benimsenmektedir.

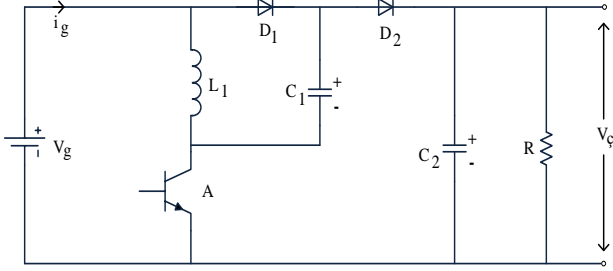
Güç Dönüştürücüleri

Günümüzde yapılan çalışmalarla yakıt hücresi modellemesinin yanı sıra, güç dönüştürücünün modellemesine de odaklanılmıştır. Çünkü sistemin verimliliği ve istikrarlı çalışması bir bütün olarak incelenmelidir. PEMFC sisteminin çıkış gerilim değeri, gerek araç gerek konut uygulamalarında güç aktarma birimleriyle uygun olarak yükseltilebilmektedir. Bu amaçla farklı yapıdaki DA/DA dönüştürücüler, çift yönlü DA/DA dönüştürücüler veya DA/AA evirici devrelerinin çeşitleri kullanılabilir (Kolli, vd., 2015). Şekil 4'de klasik yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi gösterilmektedir.



Şekil 4. Klasik gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi

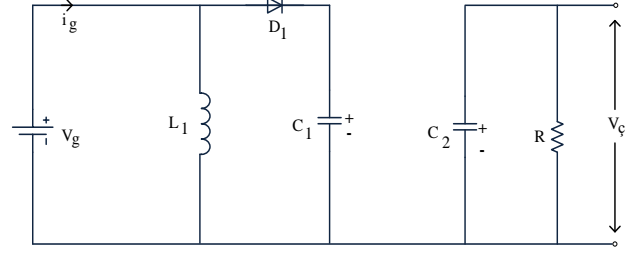
Bu çalışma da ise çıkış gerilimini kademeli artırıcı olarak çalışabilen bir DA/DA dönüştürücüsünün tasarımı, modellenmesi ve kontrollü incelenmiştir. Kademeli DA/DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 5 ile gösterilmektedir.



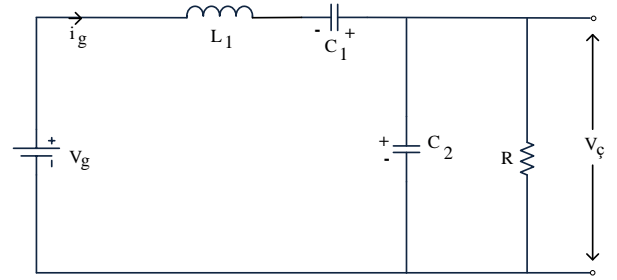
Şekil 5. Kademeli gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi

DA-DA dönüştürücü devre tasarımında, gerilimin farklı seviyelerde yükseltilmesi tekniğinin (VL) veya süper kaldırma (super lifting-SL) popüleritesi gün geçtikçe artmaktadır (Silpa, vd., 2014). Pozitif çıkış gerilim değerine sahip SL DA-DA Dönüştürücü devrelerinin yapısı; temel bir DA/DA dönüştürücü devresi, ardından bu devreye eklenen indüktans (L), diyot (D) ve kapasitelerden (C) meydana gelmektedir (Tekade, vd., 2016; Milind, vd., 2017). Her ana devre bir anahtar (A), n adet indüktans, (3n-1) adet diyot ve 2n adet kapasite kullanılarak oluşturulur.

Temel devrede; anahtar (A) iletme girdiğinde C₁ kapasitesi (t_{on} süresi boyunca) V_g giriş gerilimine şarj olurken L₁ indüktansından akan i_{L1} akımı dT anahtarlama süresi boyunca V_g giriş gerilimiyle artar ve bu duruma ait devre yapısı Şekil 6 (a) ile gösterilmektedir. Anahtarın kesime girdiği (1-d)T periyodunda ise (V_ç-2V_g) gerilimiyle i_{L1} akım değeri azalmakta ve devre yapısı Şekil 6 (b) ile gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. Kademeli Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Eşdeğer Devresi (a) İletim Durumunda (b) Kesim Durumunda

İletim ve kesim durumları için indüktans akımındaki dalgalanma (Δi_{L1}) Denklem (5) ve giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Denklem (6) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_g \cdot d \cdot T}{L_1} = \frac{V_{\text{ç}} - 2V_{\text{in}}(1-d)T}{L_1} \quad (5)$$

$$V_{\text{ç}} = \left(\frac{2-d}{1-d} \right) V_{\text{in}} \quad (6)$$

ig giriş akımı (ig=iL1+iC1) anahtarın iletme girmesi ve kesim girmesi durumunda Denklem 7 ile hesaplanır.

$$\left. \begin{aligned} i_{g\text{iletim}} &= i_{L1\text{iletim}} + i_{C1\text{iletim}} \\ i_{g\text{kesim}} &= i_{L1\text{kesim}} + i_{C1\text{kesim}} \\ dTi_{C1\text{iletim}} &= (1-d)Ti_{C1\text{kesim}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

L₁ indüktansı yeterli derecede büyük seçilirse; indüktans akım değeri (i_{L1}) ortalama indüktans akım (I_{L1}) değerine eşit olur.

$$\begin{aligned} i_{g\text{kesim}} &= i_{C1\text{kesim}} = I_{L1} \cdot i_{g\text{iletim}} = I_{L1} + \\ \left(\frac{1-d}{d} \right) I_{L1} &= \frac{I_{L1}}{d} \end{aligned} \quad (8)$$

$$i_{C1iletim} = \left(\frac{1-d}{d}\right) I_{L1} \quad (9)$$

Bu durumda ortalama giriş akım değeri (I_g) Denklem (10) ile hesaplanır;

$$I_g = di_{giletim} + (1-d)i_{gkesim} = I_{L1} + (1-d)i_{L1} = (2-d)I_{L1} \quad (10)$$

İndüktans akım değişim oranı (ζ) ise;

$$\frac{V_g}{i_g} = \left(\frac{1-d}{2-d}\right)^2 \cdot \frac{V_C}{i_C} = \left(\frac{1-d}{2-d}\right)^2 R \quad (11)$$

$$\zeta = \frac{\Delta i_{L1}/2}{I_{L1}} = \frac{d(2-d)TV_g}{2L_1 i_g} = \frac{d(1-d)^2 R}{2(2-d)fL_1} \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Çıkış gerilimindeki dalgalanma ise Denklem 13 ile hesaplanır.

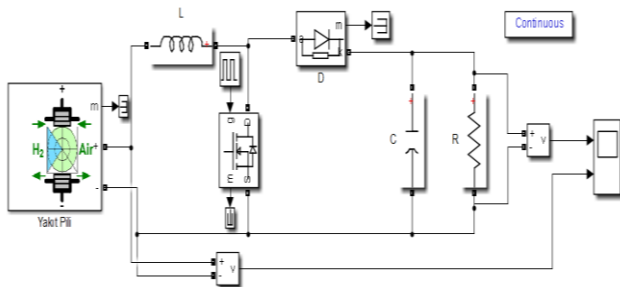
$$\Delta V_C = \frac{\Delta Q}{C_2} = \frac{i_C(1-d)T}{C_2} = \frac{(1-d)V_C}{fC_2R} \quad (13)$$

Kademeli Yükseltici Dönüştürücü devresi için çıkış ve giriş gerilim değerleri arasındaki bağıntının genelleştirilmiş ifadesi Denklem (14) ile verilmiştir. n seviye sayısını göstermektedir.

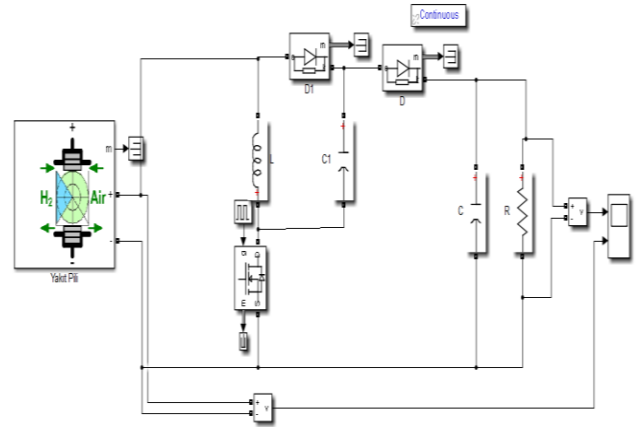
$$\frac{V_C}{V_g} = \left(\frac{2-d}{1-d}\right)^n \quad (14)$$

Benzetim Modeli ve Sonuçları

Şekil 7 (a) ve (b) ile sırasıyla Klasik Yükseltici DA/DA Dönüştürücü ve Kademeli Yükseltici DA/DA devrelerine ait MATLAB/Simulink benzetim modelleri gösterilmektedir.



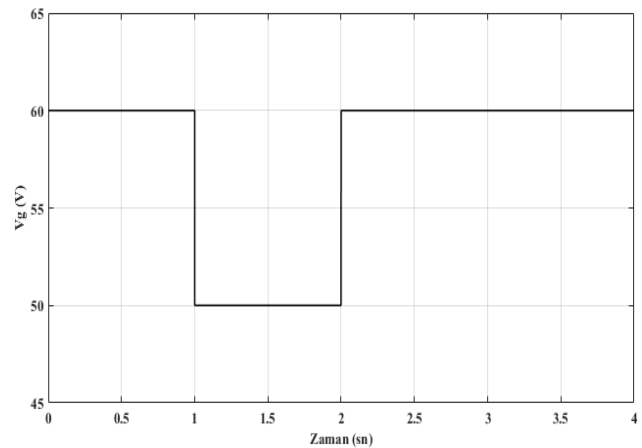
(a)



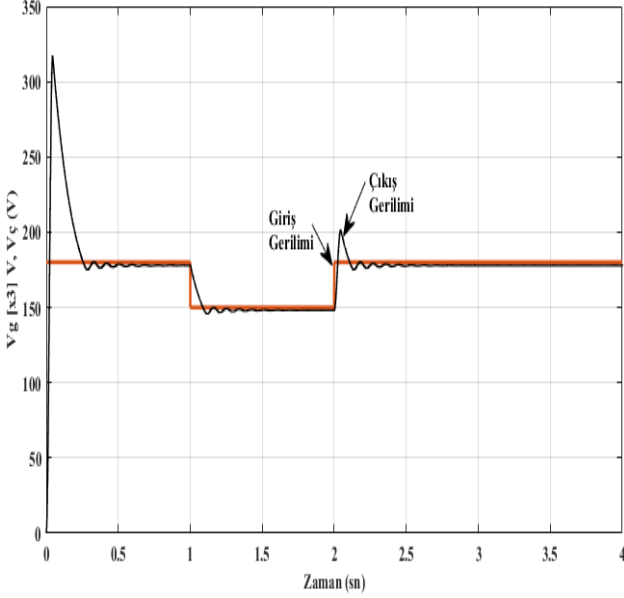
(b)

Şekil 7.(a) Klasik Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresine ait MATLAB/Simulink modeli,(b) 2 Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresine ait MATLAB/Simulink modeli

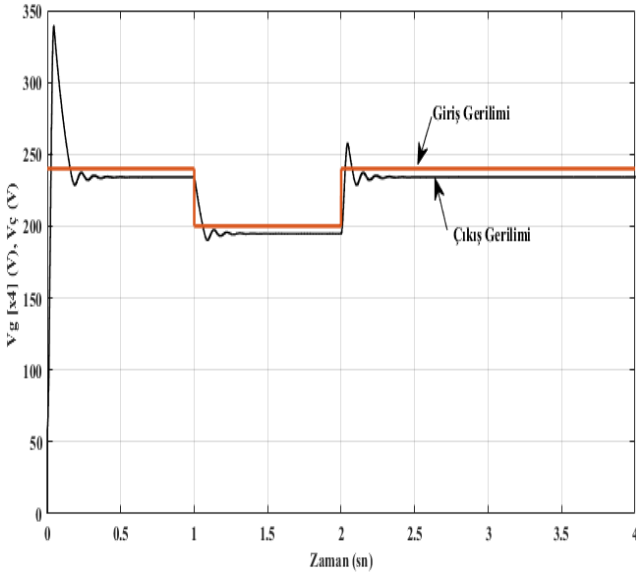
Her iki DA/DA dönüştürücü devreleri karşılaştırıldığında; kademeli yükseltici devresinde klasik devre yapısına göre fazladan bir diyot ve kapasite kullanıldığı görülmektedir. Şekil 7 (a) ve (b)'de $C=2200\mu F$, $L=10mH$, ve $R=100\Omega$ olarak kullanılırken $C_1=2200\mu F$ 'dir. Her iki devrede kaynak geriliminin değişimine göre devrelerin çalışması inceleneceğinden dolayı Şekil 8 ile gösterilen giriş gerilimi sisteme uygulanmaktadır. Görev periyodu her iki devre için $d=2/3$ olarak benzetim modeli çalıştırılmıştır. ($d=2/3 \sim \%66,67$).



Şekil 8. Giriş Gerilimi Dalga Şekli (V)



Şekil 9. Klasik Yükseltici DA/DA Giriş Gerilimi (V_g) ve Çıkış Geriliminin (V_c) Değişimi



Şekil 10. Kademeli Yükseltici DA/DA Giriş Gerilimi (V_g) ve Çıkış Geriliminin (V_c) Değişimi

Her iki devrede giriş gerilimi 60V olarak uygulanmış. 1 saniye sonunda giriş geriliminde 10V'luk bir düşüş meydana gelerek 50V'a düşmüş. Ancak daha sonra sistem başlangıç giriş gerilim değerine dönerek tekrar 60V giriş geriliminde çalıştırılarak sistemlerin farklı durumlar altındaki davranışı incelenmiştir. Klasik DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin 60V olması durumunda elde edilen

çıkış gerilim değeri $d=2/3$ görev periyodu için 180V, giriş gerilim değerinin 50V olduğu durumlar da ise çıkış gerilim değeri 150V'dur. Bu durum Şekil 9'de gösterilen değerlerle birbirini doğrulamaktadır. Kademeli DA/DA dönüştürücü devresinde ise aynı değerdeki giriş gerilimlerinde sırasıyla ulaşılan çıkış gerilim değerleri 240V ve 200V'dur. Yine bu durum Şekil 10 ile doğrulanmaktadır.

Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilen devre giriş gerilimleri ve çıkış gerilimleri incelendiğinde, aynı şartlarda çalışan her iki devreden kademeli yükseltici devre ile daha yüksek çıkış gerilim seviyesine ulaşıldığı gözlenmektedir. Ayrıca her hangi bir anda meydana gelebilecek gerilim düşümünde kademeli yükseltici DA/DA devresinin hızlı cevap vererek devrenin her koşulda doğru çalıştığı gözlenmiştir.

Sonuçlar

Yakıt pillerinin günümüzde hem araçlarda (elektrikli/hibrit araçlar) hem evsel uygulamalarda enerji kaynağı olarak kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Ancak çıkış gerilim değerlerinin düşük olması (tek bir hücre için 1V civarında) sebebiyle çeşitli devre yapıları geliştirilmektedir. Ancak yine de birçok uygulamada seri/paralel bağlı yakıt hücrelerinin oluşturduğu yakıt pili yapısı arzu edilen yüksek ve sabit bir değerde besleme gerilimini sağlayamamaktadır. Bu nedenle DC/DC dönüştürücü devreleri yakıt pili gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanıldığı uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada klasik yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi ile iki kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresinin analizi MATLAB programı kullanılarak karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Her iki devrenin çalışması sırasında kapasite (C), indüktans (L), direnç (R), anahtarlama frekansı (f) ve görev periyodu (d)

aynıdır. Her iki güç devresinde elde edilen sonuçlara dayanarak kademeli artırıcı olarak çalışan devre ile daha yüksek çıkış gerilim değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Ayrıca teorik olarak elde edilen sonuçlar ile benzetim modeli ile elde edilen sonuçların birbirini doğruladığı da tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Ali D.M. and Salman, S.K., (2006). Comprehensive Review of the Fuel Cells Technology and Hydrogen Economy, *IEEE 41st International Conference*, sayfa. 98-102, 6-8 Sept.
- Chen, Y.M., Huang, A.Q. and Yu, X., (2013). A high step-up three-port DC-DC converter for stand-alone PV/battery power systems, *IEEE Trans. Power Electron.*, 28(11), sayfa: 5049-5062, Kasım.
- Devrim, Y., Devrim, H., Eroglu, İ., (2015). Development of 500 W PEM fuel cell stack for portable power generators, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(24), sayfa: 7707-7719.
- Hoogers, G., (2003). Fuel cell technology handbook. FL: CRC Press.
- Balakrishnan, J., (2007). Fuel Cell Technology, IEEE International conference, pp. 159-164, 4-6 Dec.
- Juan, Y.L., (2011). An integrated-controlled AC/DC interface for microscale wind power generation systems, *IEEE Trans. Power Electron.*, 26(5), sayfa: 1377-1384.
- Kolli, A., Gaillard, A., De Bernardinis, A., Bethoux, O., Hissel, D., ve Khatir, Z., (2015). A Review On DC/DC Converter Architectures For Power Fuel Cell Applications, *Energy Conversion and Management*, 105, sayfa 716-730.
- Laughton, M.A., (2002). Fuel Cells, *Engineering Science and Education Journal*, Vol. 11, sayfa. 7-16.
- Milanovic, M., Rodic, M., Truntic, M., (2012). DC-DC Conditioning System for FC Application, *15th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC*, DS3d.3.
- Milind D., Bagewadi, Sanjay S. Dambhare, (2017). A Buck-Boost Topology Based Hybrid Converter for Standalone Nanogrid Applications, *IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, 27-29 Haziran, sayfa 502-506.
- Nehir, M. H., Wang, C., (2009). Fuel Cell Modeling and Control: Distributed Generation Applications, *IEEE Press and John Wiley & Sons, Ltd.* ISBN 9780470233283.
- Nejabatkhah, F., Danyali, S., Hosseini, S.H., Sabahi, M. and Niapour, S.M., (2012). Modeling and control of a new three-input DC-DC boost converter for hybrid PV/FC/battery power system, *IEEE Trans. on Power Electron.*, 27(5), sayfa: 2309-2324.
- Partridge, I., (2018). Cost comparisons for wind and thermal power generation, *Energy Policy*, Vol. 112, sayfa. 272-279.
- Rugolo, J., Aziz, M.J., (2012). Electricity storage for intermittent renewable sources, *Energy Environ. Science*, Vol. 5, sayfa. 7151-7160.
- Samosir, S., Anwari, M., Halim, A., Yatim, M., (2010). A simple PEM Fuel Cell Eöulator using Electrical Circuit Model, *2010 Conference Proceedings IPEC*, sayfa 881-885, 27-29 Ekim.
- Sangwongwanich, A., Yang, Y., Sera, D., Blaabjerg, F., Zhou, D., (2018). On the Impacts of PV Array Sizing on the Inverter Reliability and Lifetime, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(4), sayfa: 3656-3667.
- Silpa. N and Chitra. J., (2014). An Improved Luo Converter for High Voltage Applications, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(5).
- Tekade, A., Juneja, R., Kurwale, M., Debre, P., (2016). Analysis of a Positive Output Super-Lift Luo Boost Converter, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6(2), sayfa: 74-78.
- Thounthong, P., Pierfederici, S., Daval, B., (2010). Analysis of Differential Flatness-Based Control for a Fuel Cell Hybrid Power Source, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(3), sayfa: 909-920.
- U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2016. Technical Report May 2016, EIA.
- Yang, L.S. ve Lin, C.C., (2015). Analysis and Implementation of a DC-DC Converter for Hybrid Power Supplies Systems”, *Journal of Power Electronics*, 15(6), sayfa: 1438-1445.

Design of Super-Lift DC/DC Boost Converter for Fuel Cell Application

Extended abstract

Due to the increasing demand for energy demand, limited availability of fossil fuel resources and the need for reliable and clean energy sources, the studies on the alternative energy sources and the circuit structures required for their efficient use are increasing day by day. Because of the low voltage obtained from single cell of fuel cells and photovoltaic cells, serial or parallel structures have been developed and so it is reached to desired output voltage values. However, this situation increases both size and cost in high power applications. For this reason, various converters circuits have been developed in order to use both fuel cells, photovoltaic panels and other renewable energy sources in high power applications. The DC/DC converter circuits designed in various ways (buck, boost and etc.) are used to reach higher voltage, while DC/AC converters are preferred for the circuits where alternative voltage is required.

In recent years, the voltage lift (VL) technique finds wide application area in electronic circuit design. The output voltage and efficiency of the circuit elements used in the DC-DC converter circuits can be changed. In addition, the output voltage can be arithmetically increased. By using this structure, the voltage gain is increased while the converter efficiency and power density are increased. This converter minimizes the ripple content in voltage and current.

In this study, it is focused on increasing the low output voltage, which is one of the problems encountered when using renewable energy resources. Also, the operation of the super-lift DC/DC boost converter circuit for a system with a fuel cell as the supply voltage is explained and compared with the conventional DC/DC boost converter circuit. These circuits, which are especially preferred in applications where high output voltage is required, greatly increase the voltage gain. The main circuit of super lift converter is same as conventional DC/DC boost converter. But if the stages are wanted to be increased, only passive elements are increased where as the number switch is not changed and is kept only one. So the super-lift DC/DC boost converter consists of one

switch 'S', 'n' inductors, $3n-1$ diodes and $2n$ capacitors.

The results by using the MATLAB program show that the output voltage waveforms are examined for the same duty period and higher voltage levels have been reached with the step riser super-lift DC/DC boost converter circuit.

Keywords: Boost converter, fuel cell, voltage gain.



Yapay Sinir Ağını Kullanarak Müşteri Memnuniyeti Analizi

Yunus Emre ARAÇ*

Istanbul Aydın Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
yunusarac@aydin.edu.tr ORCID: 0000-0001-8346-8802

Ahmet GÜRHANLI

Istanbul Aydın Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
ahmetgurhanli@aydin.edu.tr ORCID: 0000-0002-2568-7991

Geliş: 09.05.2019, Revizyon: 29.07.2019, Kabul Tarihi: 05.08.2019

Öz

Günümüz teknolojilerinde en önemli merak konularından biri ileriye tahmin etmek olmuştur. Bu konuda birçok çalışma makine öğrenmesi üzerine yoğunlaşmıştır ama doğrusal olmayan durumlarda klasik makine öğrenmesi yöntemleri yeterli gelmemiştir. Yapay sinir ağları da eldeki verilerden yola çıkarak tahminler yapabilmemize olanak sağlayan bir sistem olarak hayatımıza girmiştir. Müşteriye yönelik çalışan tüm kuruluşların daha fazla müşteri kazanabilmek ve var olan müşterilerini ellerinde tutabilmek için müşterilerinin memnuniyetlerini öğrenmeleri gerekmektedir. Bu memnuniyet durumu içine sadece nesnel veriler değil insan duyguları da girebileceği için doğrusal bir denklem oluşturulamamaktadır. Eldeki veriler iyi analiz edilerek, yeni gelecek müşteriler için de doğru kararlar verilip onların kalıcılığının artırılması gerekmektedir. Klasik makine öğrenmesi bu tür bir uygulamada yetersiz kalmaktadır, ancak otomatik olarak eğitilen ve doğrusal olmayan bileşenler içeren yapay sinir ağları doğruluğu yüksek sonuçlar verebilmektedir. Yapay sinir ağları sayesinde doğrusal olmayan denklemler kurularak bu uygulamalara yönelik tahminlerin en iyi şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Son yıllarda yapılan karşılaştırmalar ve çalışmalar da yapay sinir ağlarının klasik makine öğrenmesi yöntemlerine göre doğrusal olmayan durumlarda daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Bu çalışma da derin öğrenme ile müşteriler üzerinde memnuniyet analizi ve tahmini yapılırsa daha iyi sonuçlar alınabileceğini ortaya koymaktadır. Bu makalede bir yapay sinir ağında bu uygulama özelinde karşılaşılan durumlar raporlanmaktadır. Çalışmamız müşteri memnuniyet analizi için ağdaki parametrelerin nasıl ayarlanması gerektiğini belirtmekte ve farklı algoritma seçimlerinin nasıl sonuç verdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: YSA; Yapay Sinir Ağı; Müşteri Memnuniyeti

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Yapay sinir ağlarının (YSA) tahminde kullanılmasına olan ilgi, son on yılda araştırma faaliyetlerinde büyük bir artışa neden olmuştur. Yapay sinir ağları büyük bir umut vaat etmelerine rağmen, aynı zamanda belirsizlik de içermektedir. Bugüne kadar araştırmacılar, temel faktörlerin yapay sinir ağlarında tahmin performansına etkisi konusunda kesin değillerdir. Son yıllarda diğer makine öğrenmesi teknikleri ile kıyaslama yapıldığı zaman yapay sinir ağlarının bu tekniklere göre daha iyi olduğunu yapılan çalışma ve örneklemelerde görülebilmektedir. Bu durumun oluşumundaki en büyük sebeplerden biri ise çözülmesi en zor olan doğrusal olmayan problemlerde daha gerçeğe uygun bir model sunmasıdır. Burada oluşan giriş ve çıkış değerleri arasında doğrusal bir bağlantı kurulamamasından dolayı diğer çoğu yöntem yetersiz kalmaktadır (Akin, 2018).

Bir makine öğrenmesi algoritması yanlış bir tahmin verirse, o zaman bir mühendis içeri girmeli ve ayarlamalar yapmalıdır. Ancak, derin öğrenme modeliyle, bir tahminin doğru olup olmadığını algoritmalar kendi başlarına belirleyebilmektedir. Doğrusal olmayan bir denklemin çözülmesinde ise bu denklemi etkileyecek birden fazla etken yer almaktadır. Sonucu etkileyen tüm bu etkenlerin karar verme mekanizmasına dâhil olarak etkileme oranına göre sonucun belirlenmesinde kullanılmalıdır.

İnsan beyni, gerçek dünyadaki durumların bağlamını bilgisayarların yapamayacağı şekilde yorumlamaktadır. Bu sorunu çözmek için ilk olarak 1950'lerde sinir ağları geliştirilmiştir. Yapay bir sinir ağı, insan beynini oluşturan nöron ağını benzetim etme girişimidir, böylece bilgisayar bir şeyler öğrenebilir ve insani bir şekilde kararlar alabilir. Yapay sinir ağları düzenli bilgisayarları birbirine bağlı beyin hücreleriymiş gibi davranacak şekilde programlayarak oluşturulmaktadır.

İnsanlar da kararlarını düşünerek, daha önceki deneyimlerinden faydalanarak test ederler ve bu

testler sonucu doğruluk oranına göre ileriye dönük yeni durumlar için tahminlerde bulunabilirler. Aslında baktığımız zaman bu günlük hayatımızın her anında kullanılan bir yöntemdir. Bir yapay sinir ağı da aslında bu şekilde ilerlemektedir. Doğru bir kurgu yapıldığı zaman var olan geriye dönük bilgilerin belirli bir kısmı ile kendisini eğitir, geri kalan kısmını da bu eğitimin ne kadar doğru bir şekilde yapıldığını test etmek için kullanır. Doğru modele karar verdiğine emin olduktan sonra yeni gelen veriler üzerinden tahminlerini yapabilecek şekilde hazır hale gelir.

Yapay sinir ağ sistemlerinde nesnel olmayan durumları da çözebilmemiz için var olan kurgumuzu doğrusal olmayacak şekilde gerçekleştirmemizi sağlayan en önemli faktörlerden biri de aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu seçimine göre de veri setinden alınan doğruluk oranı sonuçları değişecektir. Bunun gibi yapay sinir ağını etkileyen birçok parametre vardır. Bunların veri setine uygun bir şekilde seçilmesi sonuç için önem arz etmektedir.

Literatür Taraması

Bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır. En önemli çalışmalar incelendiği zaman birçoğunda aslında klasik makine öğrenmesi yöntemlerinin zorlandığı kısım olan insan duygu ve algılarının etkilediği durumlar ele alınmaktadır.

Go oyunu muazzam arama alanı ve tahta pozisyonlarını ve hareketlerini değerlendirme zorluğu nedeniyle yapay zekâ için klasik oyunların en zoru olarak görülmektedir. Burada, tahta pozisyonlarını değerlendirmek için 'değer ağlarını' kullanan ve hareketleri seçmek için 'politika ağlarını' kullanan Go oyununa yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Bu derin sinir ağları, denetimli öğrenmenin ve destekleyici öğrenmenin yeni bir kombinasyonu ile eğitilmiştir. Herhangi bir arama araştırması olmadan, sinir ağları, binlerce rastgele oyun oynamayı simüle eden en gelişmiş Monte Carlo ağacı arama programları düzeyinde Go oyunu oynar. Ayrıca Monte Carlo simülasyonunu değer

ve politika ağları ile birleştiren yeni bir arama algoritması sunmaktadır. Bu arama algoritmasını kullanarak, AlphaGo programı diğer Go programlarına karşı %99,8 kazanma oranı elde etmiş ve 5 Avrupa Şampiyonunu 5 maçta mağlup etmiştir. Bir bilgisayar programı ilk kez en az on yıl uzakta olduğu düşünülen bir başarı olan tam boyutlu Go oyununda profesyonel bir insan oyuncuyu yenmiştir (Silver, 2016).

Sinir ağı tabanlı dik ön yüz tespit sistemi kullanılarak yüz tanıma sistemi yapılmıştır. Kameraya bağlı bir sinir ağı, bir görüntünün küçük pencerelerini inceler ve her bir pencerenin bir yüz içerip içermediğine karar verir. Sistem, tek bir ağ üzerinden performansı artırmak için çoklu ağlar arasında tahkim edilir. Eğitim sırasında olumlu yüz örneklerini hizalamak için basit bir prosedür sunulur. Olumsuz örnekleri toplamak için, eğitim ilerledikçe eğitim setine yanlış tespitler ekleyen bir bootstrap algoritması kullanılmıştır. Bu, yüzeysel olmayan görüntülerin tüm alanını kapsayacak şekilde seçilmesi gereken örgün olmayan eğitim örneklerini elle seçmenin zor görevini ortadan kaldırır. Görüntülerde nadiren örtüşen yüzlerin kullanılması gibi basit sezgisel tarama, doğruluğu daha da artırabilir. Diğer son teknoloji ürünü yüz algılama sistemleri ile karşılaştırmalar yapılarak, sistemin tespit ve yanlış pozitif oranlar açısından karşılaştırılabilir bir performans gösterdiği görülmektedir (Rowley, 1998).

Elektrik yükü tahmini için de yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımı kullanılmıştır. YSA geçmiş, şimdiki ve gelecekteki sıcaklık ve yükler arasındaki ilişkiyi öğrenmek için kullanılmıştır. Öngörülen yükü sağlamak için, YSA bir eğitim veri setindeki yük ve sıcaklık verileri arasında enterpolasyon yapar. Gerçek fayda verileri üzerindeki testlerde 1 saat ve 24 saat ilerideki tahminlerin ortalama mutlak hataları sırasıyla % 1,40 ve % 2,06 olarak gösterilmiştir. Bu, aynı verilere uygulanan hâlihazırda kullanılan bir tahmin tekniğiyle 24 saatlik ön tahminlerde ortalama % 4.22'lik bir hata ile karşılaştırılmaktadır (Park, 1991).

Yapay sinir ağları (YSA) kullanarak gen ekspresyon imzalarına dayanan belirli tanı kategorilerine kanser vakalarını sınıflandırmak için bir yöntem geliştirilmiştir. YSA'lar küçük yuvarlak mavi hücreli tümörleri (SRBCT) kullanan bir model ile eğitilir. Bu kanserler dört farklı tanı kategorisine aittir ve sıklıkla klinik pratikte tanı ikilemleri sunarlar. YSA tüm örnekleri doğru şekilde sınıflandırmıştır ve sınıflandırmaya en uygun genleri tanımlamıştır. Bu genlerin birkaçının sentezlenmesi SRBCT'lerde bildirilmiştir, ancak çoğu bu kanserler ile ilişkilendirilmemiştir. Eğitimli YSA modellerinin SRSCT'leri tanıma kabiliyetini test etmek için, daha önce antrenman prosedürü için kullanılmayan ve tüm durumlarda doğru şekilde sınıflandırılan ek körlenmiş örnekler analiz edilmiştir. Bu çalışma, bu yöntemlerin tümör teşhisi için potansiyel uygulamalarını ve tedavi için aday hedeflerin tanımlanmasını göstermektedir (Khan, 2001).

Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

Her makine öğrenmesi sistemi gibi yapay sinir ağlarının da kullanımında avantajlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlar göz önünde bulundurularak yapay sinir ağlarının hangi durumlarda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilebilir.

Yapay sinir ağlarının avantajlarını maddeler halinde sıralanacak olunursa:

- **Bilgilerin tüm ağda saklanması:** Geleneksel programlamadaki bilgiler, bir veri tabanında değil tüm ağda saklanır. Birkaç bilginin bir yerde kaybolması ağın çalışmasını engellemez.
- **Eksik bilgi ile çalışabilme becerisi:** Yapay sinir ağı eğitiminden sonra, veriler eksik bilgilerle bile çıktı üretebilir. Buradaki performans kaybı, eksik bilgilerin önemine bağlıdır.
- **Hata toleransına sahip olmak:** Bir veya daha fazla sayıda yapay sinir ağı hücresinin bozulması, bunun çıkış

oluşturmasını engellemez. Bu özellik ağların hataya dayanıklı olmasını sağlar.

- **Dağıtılmış bir belleğe sahip olmak:** Yapay sinir ağının öğrenebilmesi için, örnekleri belirlemek ve bu örnekleri ağa göstererek şebekeye istenen çıktıya göre öğretmek gerekir. Ağın başarısı seçilen örneklerle doğrudan orantılıdır ve olay ağa tüm yönleriyle gösterilemiyorsa, ağ yanlış çıktı üretebilir.
- **Kademeli bozulma:** Bir ağ zaman içinde yavaşlar ve göreceli olarak bozulmaya uğrar. Ağ sorunu hemen derhal aşınmaz.
- **Makine öğrenmesi yeteneği:** Yapay sinir ağları benzer olayları yorumlayarak olayları öğrenir ve karar alır.
- **Paralel işleme yeteneği:** Yapay sinir ağları, aynı anda birden fazla işi gerçekleştirebilecek sayısal güce sahiptir.

Yapay sinir ağlarının dezavantajları maddeler halinde sıralanacak olursa:

- **Donanım bağımlılığı:** Yapay sinir ağları, yapılarına uygun olarak paralel işlem gücüne sahip işlemciler gerektirir. Bu nedenle donanımın bu işlem gücünü gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- **Açıklanamayan ağ davranışı:** Bu yapay sinir ağlarının en önemli sorunudur. YSA bir sondalama çözümü ürettiğinde, neden ve nasıl olduğu hakkında bir ipucu vermez. Bu, ağa olan güveni azaltır.
- **Uygun ağ yapısının belirlenmesi:** Yapay sinir ağlarının yapısını belirlemek için belirli bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı, tecrübe ve deneme yanılma yoluyla elde edilir.
- **Sorunu ağa gösterme zorluğu:** Yapay sinir ağları sayısal bilgilerle çalışabilir. Problemlerin yapay sinir ağlarına sunulmadan önce sayısal değerlere çevrilmesi gerekir. Burada belirlenecek olan görüntüleme mekanizması ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Bu kullanıcının yeteneğine bağlıdır.

- **Ağın eğitim süresinin tam bilinmemesi:** Ağ eğitimi, numune üzerindeki hata belirli bir değere düşürüldüğünde tamamlanır. Bu değer bize optimum sonuç vermemektedir.

Müşteri Memnuniyet Analizi Uygulaması için Yapay Sinir Ağındaki Algoritma ve Parametrelerin Belirlenmesi

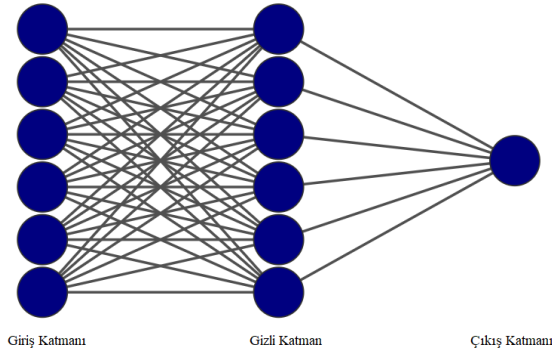
Yapay sinir ağları doğrusal olmayan durumlarda kullanıldığı için parametrelerinin alacağı değerler arasında doğrusal bir mantık kurulması söz konusu olmayacaktır. Bundan dolayı bu değerlerin en iyi şekilde belirlenebilmesi için veri seti üzerinde kıyaslamalar yaparak en iyi değerleri bulmamız gerekmektedir. Bu parametreler sayesinde en iyi doğruluk oranını verecek yapay sinir ağı modeli oluşturulabilir.

Bu araştırmada daha önceden kurulan bir model ve veri seti kullanılarak, müşteri memnuniyet analizi ve tahmini uygulaması için yapay sinir ağlarındaki algoritma ve parametrelerin nasıl seçilmesi ve ayarlanması gerektiği üzerinde çalışıldı. Örnek alınan yapay sinir ağı modelinin (Akin, 2018) aynı veri seti üzerinde daha iyi sonuç vermesi için en optimal kalibrasyon ve tercihler belirlenmeye çalışıldı. Bu alınan örnekte belirlenen parametre değerleri ile sistem çalıştırıldığı zaman %80 civarında bir doğruluk oranı ile karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada belirlenen müşteri memnuniyeti veri dizisi 'GridSearchCV' yöntemi ile işlenip adım adım tüm sistem bileşenleri için en iyi seçeneğin bulunması hedeflenmiştir. Belirlenen farklı yöntemlerin nasıl sonuçlar oluşturacağı çıkartılarak karşılaştırmalar yapıldı ve farklı değer ve yöntemlerin doğruluk oranını nasıl etkilediği araştırıldı.

İlk olarak başlangıç için bir yapay sinir ağı modelinin olması gerekmektedir. Başlangıç

olarak Şekil 1’de yer alan yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır.



Şekil 1: Başlangıç Yapay Sinir Ağı Modeli

En iyi sonuca ulaşabilmek için her bir sistem değişkenini sırası ile değerlendirmek gerekmektedir. İlk model kurulduğu zaman bu parametreler için rastgele değerler ve yöntemler kullanılacaktır. Her kontrolde bir önceki değerlendirmede en iyi sonucu veren değer ve yöntemler kullanılarak ilerlenecektir. Sonuca etkisi değerlendirilen sistem bileşenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Evreler ve Küme Boyutu (Epochs and Batch Size)
- Optimizasyon Algoritması (Optimizer)
- Başlama Modu (Init Mode)
- Aktivasyon Fonksiyonu (Activation Function)
- Düşürme Oranı (Dropout Rate)
- Sinir Sayısı (Neurons)

Evreler ve Küme Boyutu

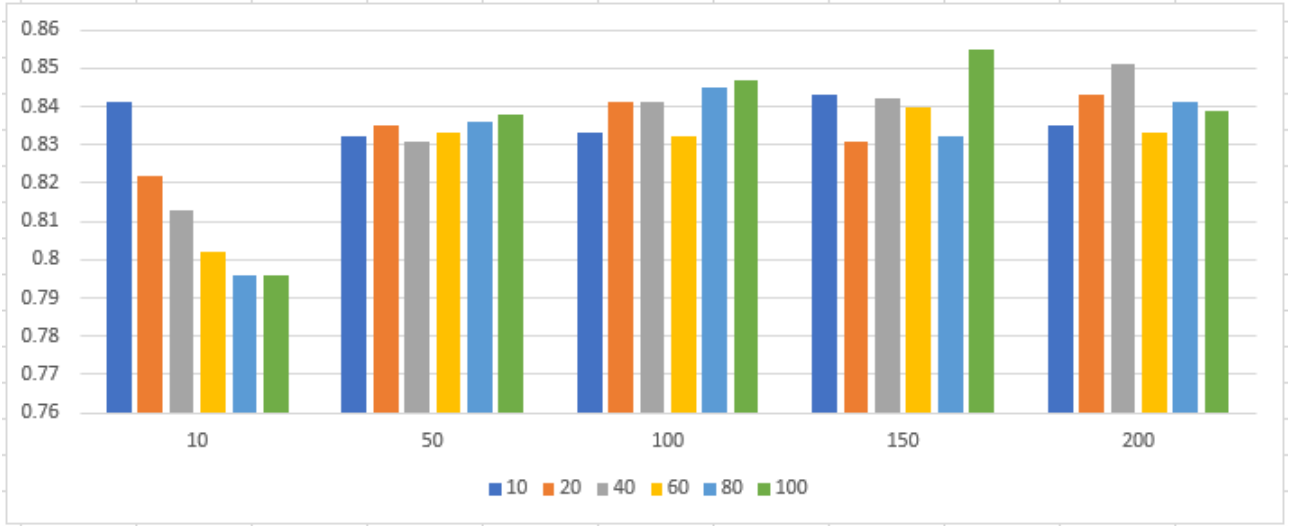
Bu iki parametre için de rastgele belirlenen bir dizi tanımlaması olması gerekmektedir. Bu tanımlamalar için her iki parametrede de belirli bir standart ya da sınır bulunmamaktadır. Bundan dolayı Evre Sayısı (Epochs) parametresi için 10, 50, 100, 150, 200 ve Küme Boyutu (Batch Size) parametresi için ise 10, 20, 40, 60, 80, 100 değerlerini alarak her biri için veri setinde nasıl sonuç oluşturacağını analiz etmeye çalıştık.

Bu parametrelerin her biri için kombinasyon yapıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

Ortalama doğruluk oranı için:

Tablo 1: Evre Sayısı ve Küme Boyutu için Ortalama Doğruluk Oranı Sonuç Tablosu

Evre Sayısı \ Küme Boyutu	10	50	100	150	200
10	0.841	0.832	0.833	0.843	0.835
20	0.822	0.835	0.841	0.831	0.843
40	0.813	0.831	0.841	0.842	0.851
60	0.802	0.833	0.832	0.840	0.833
80	0.796	0.836	0.845	0.832	0.841
100	0.796	0.838	0.847	0.855	0.839

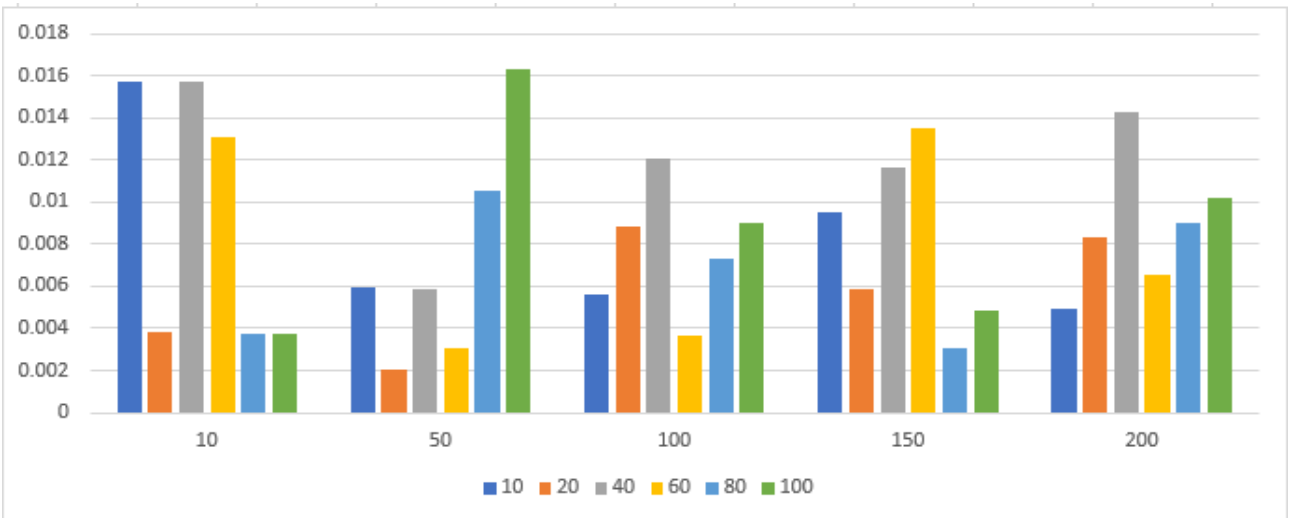


Şekil 2: Evre Sayısı ve Küme Boyutu için Ortalama Doğruluk Oranı Sonuç Grafiği

Standart sapma oranı için:

Tablo 2: Evre Sayısı ve Küme Boyutu için Standart Sapma Oranı Sonuç Tablosu

Evre Sayısı \ Küme Boyutu	10	50	100	150	200
10	0.015	0.005	0.005	0.009	0.004
20	0.003	0.002	0.008	0.005	0.008
40	0.015	0.005	0.012	0.011	0.014
60	0.013	0.003	0.003	0.013	0.006
80	0.003	0.010	0.007	0.003	0.008
100	0.003	0.016	0.009	0.004	0.010



Şekil 3: Evre Sayısı ve Küme Boyutu için Standart Sapma Oranı Sonuç Grafiği

Bu sonuçların hepsi karşılaştırıldığı zaman içerisinde en iyi sonucu veren kombinasyon 0.855000 oranı ile küme boyutu için 100 ve evre sayısı için 150 değerleri olmuştur.

Optimize Edici

Optimizasyon yöntemi için kütüphane içerisinde yer alan yöntemler tek tek denenerek en iyi doğruluk oranını veren algoritma tespit edilmeye çalışıldı. Bunlar 'SGD' (Mei, 2018), 'RMSprop'

(Teileman ve Hinton, 2012), 'Adagrad' (Duchi, Hazan, ve Singer, 2011), 'Adadelta' (Zeiler, 2012), 'Adam' (Diederik ve Ba, 2014), 'Adamax'(Diederik ve Ba, 2014) ve 'Nadam' (Dozat, 2016) olarak adlandırılmaktadır. En iyi sonucu hangisinin vereceği bilinmeyeceği için tüm değerlerin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu yöntemlerin matematik formülleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

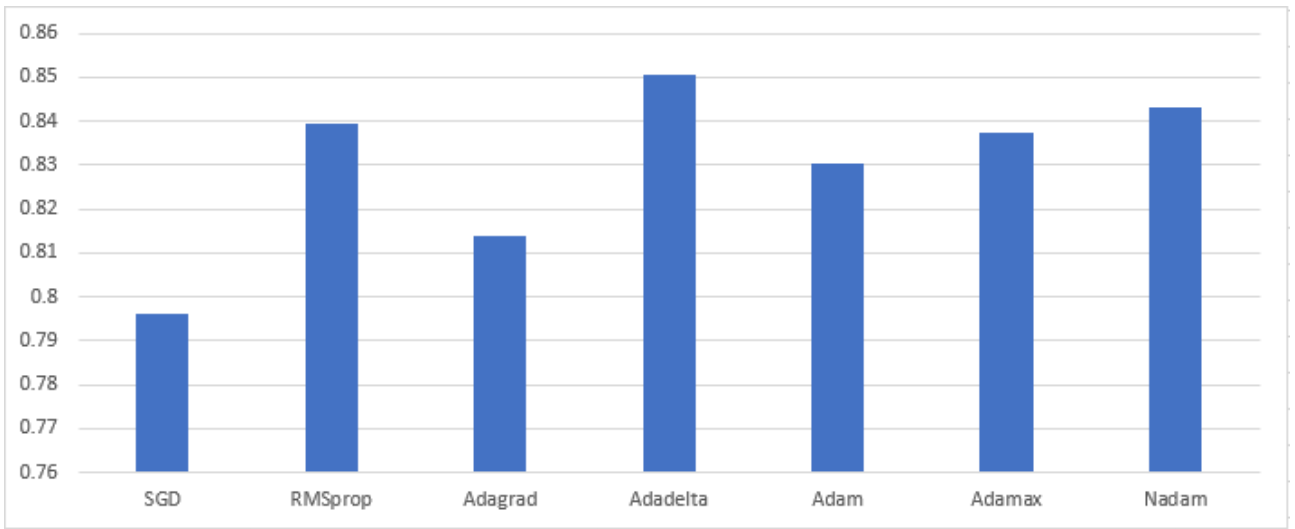
Tablo 3: Optimizasyon Fonksiyonlarının Formülleri

Optimizör	Formül
Stochastic Gradient Descent (SGD)	$Q(w) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i(w),$
Root Mean Square Propagation (RMSprop)	$w := w - \frac{\eta}{\sqrt{v(w, t)}} \nabla Q_i(w)$
Adaptive Gradient Descent (Adagrad)	$G = \sum_{\tau=1}^t g_{\tau} g_{\tau}^T$
Adaptive Learning Rate (Adadelta)	$\Delta x_t = -\frac{\eta}{\text{RMS}[g]_t} g_t$
Adaptive Moment Estimation (Adam)	$w^{(t+1)} \leftarrow w^{(t)} - \eta \frac{\hat{m}_w}{\sqrt{\hat{v}_w + \epsilon}}$
Adaptive Moment Estimation Maximum Adamax	$w_{t+1} = w_t - \frac{\alpha}{S_t} \cdot \hat{V}_t$
Nesterov-accelerated Adaptive Moment Estimation (Nadam)	$w_{t+1} = w_t - \frac{\alpha}{\sqrt{\hat{S}_t + \epsilon}} \left(\beta_1 \hat{V}_t + \frac{1 - \beta_1}{1 - \beta_1^t} \cdot \frac{\partial L}{\partial w_t} \right)$

Farklı optimizasyon algoritmaları için ortalama doğruluk oranı ve standart sapma oranı değerleri Tablo 4 ve Grafik 3'te verilmiştir.

Tablo 4: Optimizasyon Yöntemleri için Ortalama Doğruluk Oran Sonuç Tablosu

Optimizer	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
SGD	0.796	0.003
RMSprop	0.839	0.011
Adagrad	0.814	0.015
Adadelata	0.850	0.009
Adam	0.830	0.003
Adamax	0.8372	0.009
Nadam	0.843	0.007

**Şekil 4:** Farklı Optimizasyon Yöntemleri için Ortalama Doğruluk Oran Sonuç Grafiği

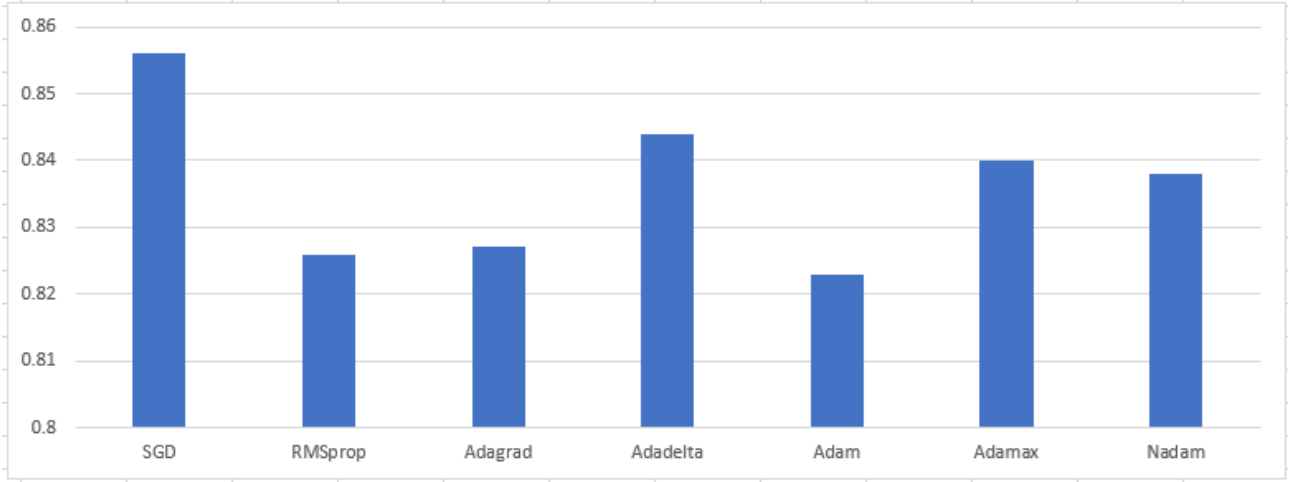
Bu sonuçlar incelendiği zaman 0.850500 doğruluk oranı ile Adadelata metodunun en iyi neticeyi verdiği görülmüştür.

Bu sonuçların model içerisindeki diğer parametre değerlerinin farklı verilmesine bağlı olarak

değiştiğini göstermek amaçlı en kötü oranı veren evre sayısı 80 ve küme boyutu 10 değerleri için tekrardan optimizasyon algoritmaları karşılaştırılır ise aşağıdaki gibi sonuçlar değişmektedir.

Tablo 5: Farklı Optimizasyon Yöntemleri için Ortalama Doğruluk ve Standart Sapma Oran Sonuç Tablosu

Optimizer	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
SGD	0.856	0.001
RMSprop	0.826	0.005
Adagrad	0.827	0.004
Adadelata	0.844	0.013
Adam	0.823	0.016
Adamax	0.840	0.013
Nadam	0.838	0.015



Şekil 5: Farklı Optimizasyon Yöntemleri için Ortalama Doğruluk Sonuç Grafiği

Bu durumdan da görüleceği üzere parametre değişkenleri arasında bir doğrusal yapıdan bahsedilememektedir.

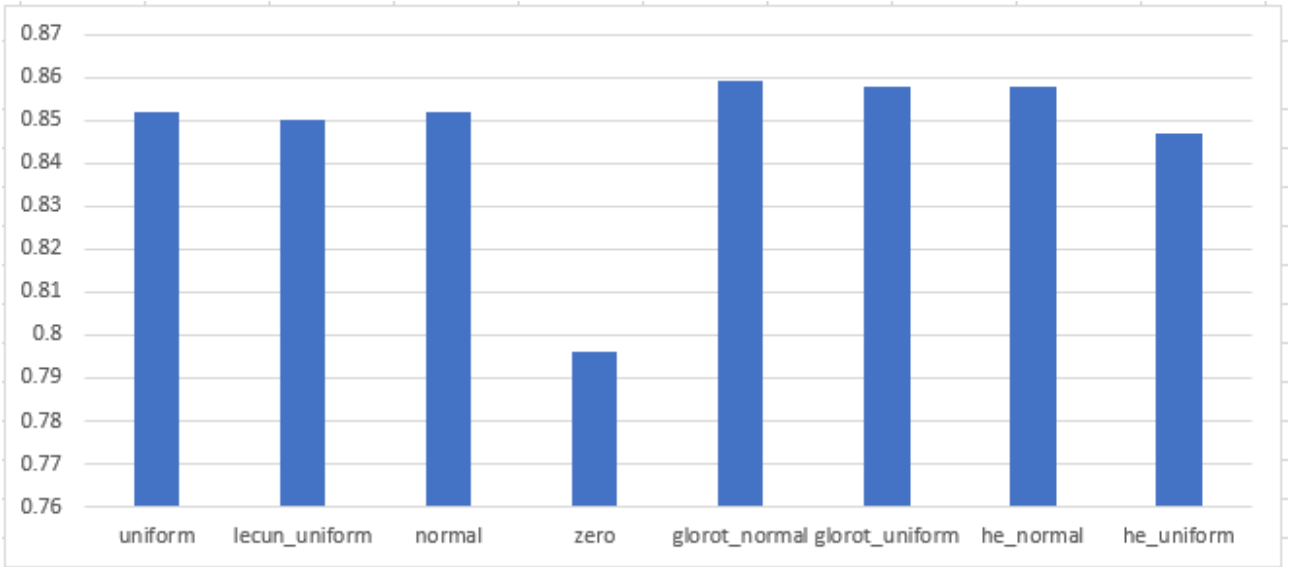
Başlangıç Modu

Bu parametre içinde aynı şekilde kütüphane içerisinde tanımlı olan belirli sayıda yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler 'uniform', 'lecun_uniform', 'normal', 'zero', 'glorot_normal', 'glorot_uniform', 'he_normal' ve 'he_uniform' olarak adlandırılmaktadır. Karşılaştırma işleminde tüm farklı yöntemler kullanılmıştır.

Bu yöntemler karşılaştırıldığı zaman sonuçlar aşağıdaki gibi çıkmaktadır.

Tablo 6: Başlangıç Modu için Ortalama Doğruluk ve Standart Sapma Oran Sonuç Tablosu

Init Mode	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
uniform	0.852	0.014
lecun_uniform	0.850	0.010
normal	0.852	0.012
zero	0.796	0.003
glorot_normal	0.859	0.0001
glorot_uniform	0.858	0.006
he_normal	0.858	0.007
he_uniform	0.847	0.011



Şekil 6: Başlangıç Modu için Ortalama Doğruluk Sonuç Grafiği

Bu sonuçlar incelendiği zaman en iyi sonucu veren yöntemin 0.859125 ortalama oranı ile 'glorot_normal' olduğu görünmektedir.

Aktivasyon Fonksiyonu

Yapay sinir ağlarının belki de en önemli olan bileşenlerinden biri aktivasyon fonksiyonudur. Yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan durumları çözebilmesi için yapılan işlemleri doğrusal olandan doğrusal olmayan yapıya dönüştürülmesini sağlayan fonksiyondur.

Bu parametre için de kütüphane içerisinde tanımlı belirli bazı fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar 'softmax' (Bishop, 2006), 'softplus', 'softsign', 'relu', 'tanh', 'sigmoid', 'hard_sigmoid' ve 'linear' olarak adlandırılmaktadır. Adı geçen aktivasyon fonksiyonlarının matematiksel formülleri Tablo 7'de verilmiştir.

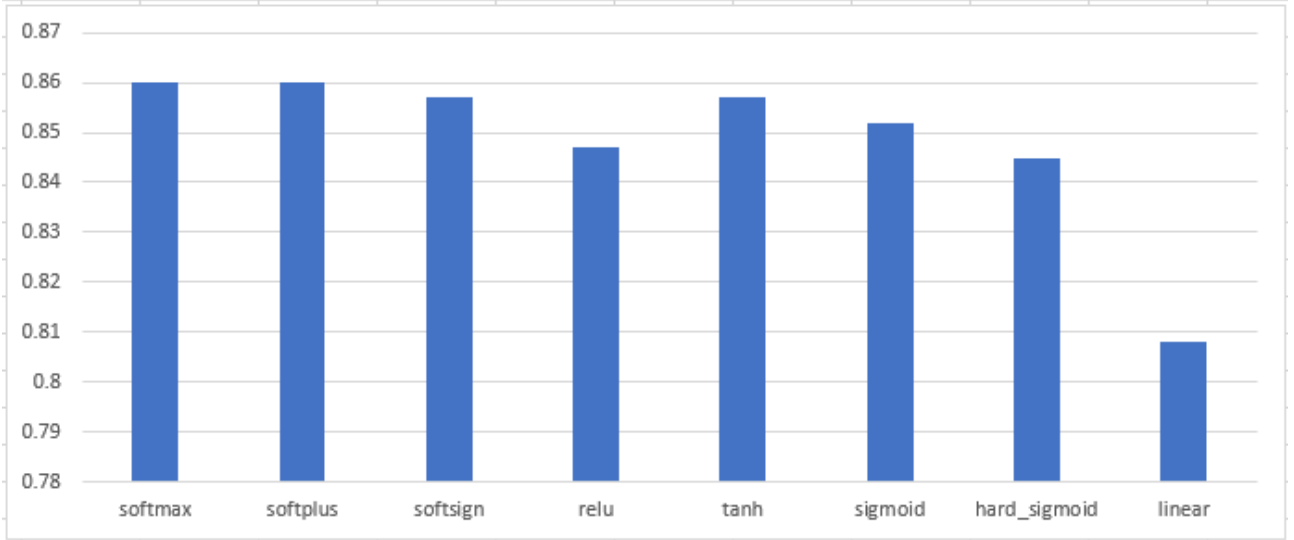
Tablo 7: Aktivasyon Fonksiyonu Formülleri

Activation	Formül
softmax	$\sigma(z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \quad \text{for } j = 1, \dots, K.$
softplus	$\phi(x) = \ln(1 + e^x)$
softsign	$\phi(x) = \frac{x}{1 + x }$
relu	$f(x) = \max(0, x)$
tanh	$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$
sigmoid	$\zeta_\alpha(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} = \frac{\tanh(\alpha x / 2) + 1}{2}$
hard_sigmoid	$\max(0, \min(1, x))$

Tüm bu farklı aktivasyon fonksiyonları baz alınarak aralarında karşılaştırılma yapıldığı zaman aşağıdaki gibi sonuçlara ulaşılmaktadır.

Tablo 8: Aktivasyon Fonksiyonları için Ortalama Doğruluk ve Standart Sapma Oranı Sonuç Tablosu

Activation	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
softmax	0.860	0.0008
softplus	0.860	0.003
softsign	0.857	0.003
relu	0.847	0.010
tanh	0.857	0.002
sigmoid	0.852	0.005
hard_sigmoid	0.845	0.014
linear	0.808	0.007



Şekil 7: Aktivasyon Fonksiyonları için Ortalama Doğruluk Sonuç Grafiği

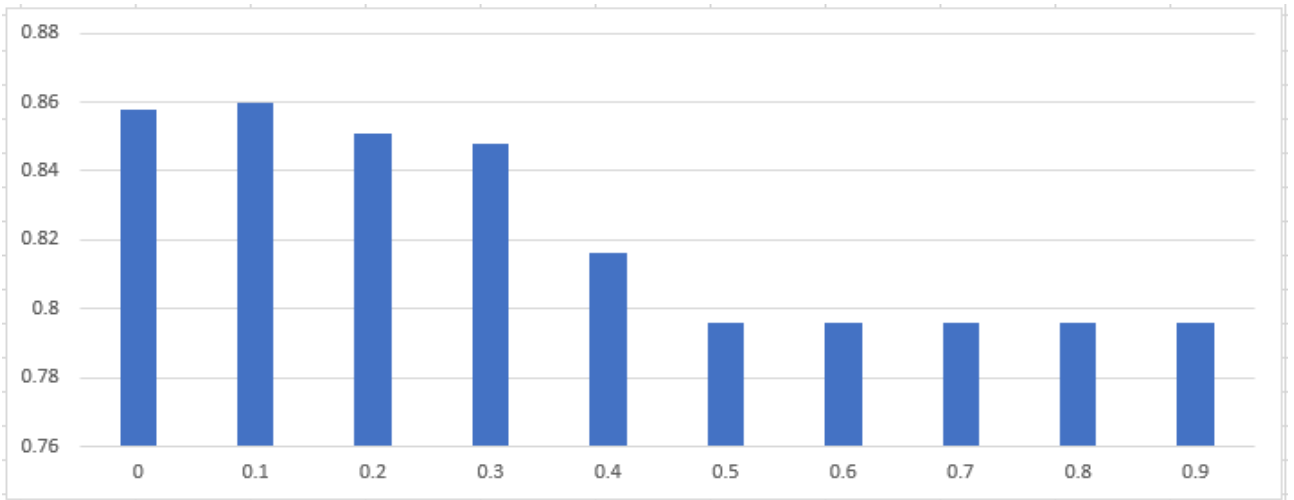
Bu sonuçlar incelendiği zaman en iyi sonucu 0.860375 doğruluk oranı ile 'softmax' değişkeni vermektedir.

Düşürme Oranı

Düşürme yöntemi aslında aşırı düzeltme problemini önleme görevi görmektedir. Yapar sinir ağında yer alan nöronlardan belirlenen değerden küçük sonuç veren nöronları sistemden çıkararak daha yüksek orana ulaşılmasını ve düşük olasılıkların sisteme etkisini engelleme amaçlı kullanılmaktadır. Bu parametre içinde değişken değerleri 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 olacak şekilde tanımlama yapabilmektedir. Bu parametreler ile gerekli karşılaştırmayı yapıldığı zaman aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 9: Düşürme Oranı için Ortalama Doğruluk ve Standart Sapma Oranı Sonuç Tablosu

Dropout Rate	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
0.0	0.858	0.0003
0.1	0.860	0.005
0.2	0.851	0.014
0.3	0.848	0.006
0.4	0.816	0.002
0.5	0.796	0.003
0.6	0.796	0.003
0.7	0.796	0.003
0.8	0.796	0.003
0.9	0.796	0.003



Şekil 8: Düşürme Oranı için Ortalama Doğruluk Sonuç Grafiği

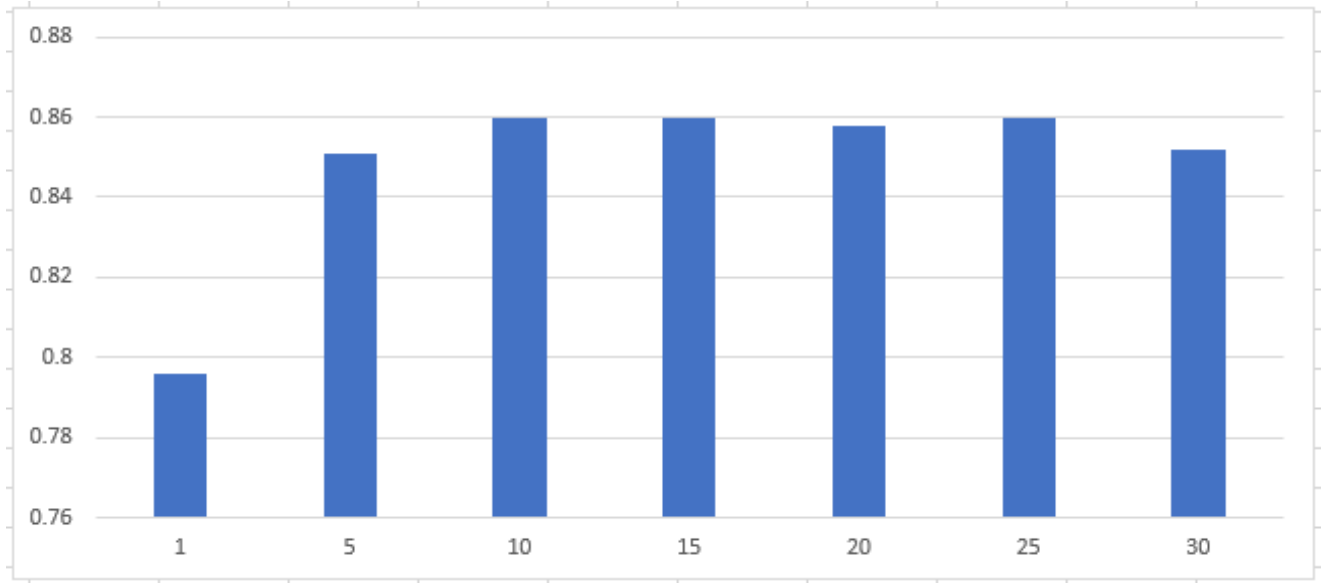
Sonuçlar incelendiği zaman en iyi sonucu veren değişken değeri 0.860125 ile '0.1' olduğu görülmektedir.

Sinir Sayısı

Bu parametre yapay sinir ağlarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu parametre değeri için de herhangi bir değer kısıtlaması yoktur. Bundan dolayı karşılaştırmada 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 değerleri kullanılabilir. Bu parametreler karşılaştırıldığı zaman aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 10: Sinir Sayısı için Ortalama Doğruluk ve Standart Sapma Oran Sonuç Tablosu

Sinirler	Ortalama Doğruluk Oranı	Standart Sapma Oranı
1	0.796	0.003
5	0.851	0.013
10	0.860	0.001
15	0.860	0.0007
20	0.858	0.001
25	0.860	0.0001
30	0.852	0.008



Şekil 9: Sinir Sayısı için Ortalama Doğruluk Sonuç Grafiği

Çıkan sonuçlar karşılaştırıldığı zaman en iyi sonucun 0.860750 doğruluk oranı ile 10 değeri ile alındığı görülmektedir.

Bu parametrelerin bazılarının değişken değerleri isteğe göre artırılabilir hatta daha da azaltılabilir. Burada sadece en temel parametreleri temel alınarak gerekli incelemeler yapılmıştır. Bu şekilde yapay sinir ağında değişiklik yapılabilecek tüm parametrelere bu yöntem uygulanarak verilebilecek en iyi değişken değerleri bulunabilmektedir. Bu yöntemlerin tamamı birleştirilerek tek seferde birbiri ile uyumlu en iyi parametre değerleri bulunabilir ama bunun için kombinasyon sayısı artacağı için hem yüksek güçlü bir bilgisayar hem de uzun bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır.

Alınan değerler sonucunda görebileceğiniz gibi en kötü ortalama doğruluk oranı %79 çıkmıştır. Bu değerden daha düşük bir oranla çalışmak yerine son durumda %86 civarında bir doğruluk oranı ile belki de daha yüksek bir oranla testler sürdürülebilir. Bu sonuçlar aynı parametreler ve aynı veri setini kullanıldığı zaman bile %1 e yakın bir oranda sapma gösterebilmektedir.

Daha Hızlı ve Performanslı Çalışma Yöntemleri

Şimdiye kadarki süreçte incelenen bilgiler doğrultusunda bir veri modeline göre en iyi sonucu verebilecek olan yapay sinir ağı modellemesinin tamamlanmasının uzun bir zaman ve uğraş gerektirdiği görüldü. Bu süreçler bir defa tamamlandıktan sonra her seferinde aynı veri seti için bu kadar zaman kaybı yaşanılması

istenilmeyebilir. Bunun için hem yapay sinir ağı modelini hem de en iyi sonucun alındığı ağırlık değerlerini kaydederek bir sonraki sorgulamamızda bu model ve ağırlıkları sisteme yükleyebiliriz. Bu sayede tekrardan bir yapay sinir ağı modeli kurmadan ve sistemi eğitmeye zaman harcamadan istenilen veri üzerinde çalışma gerçekleştirilebilir.

Bunların yanı sıra yapay sinir ağında her çalıştırma farklı bir sonuç vereceği bilindiği için her yeni çalıştırmadan model ve ağırlıkları yükledikten sonra sistemi tekrardan eğiterek yeni değerlerin daha iyi sonuç verip vermediği kontrol edilebilir. Eğer daha iyi bir oran alınmış ise bu yeni oran için ağırlık değerleri güncellenir ama bu değer daha düşük bir oran çıkar ise bu değere karışmadan eski ağırlık değerleri ile tekrardan yüklenerek sonuç alınabilir.

Sonuç

Bu çalışmada müşteri memnuniyeti analizinde veri setine uygun olarak en iyi doğruluk oranını veren yöntem ve parametre değerleri bulunmaya çalışıldı. Yapay sinir ağına doğrusal olmadığı ve verilen parametre değerlerine göre nasıl değişiklik gösterdiği görüldü. Veri setinde bulunan müşteri bilgileri için yapılan son 10 testte aşağıdaki başarı oranları sağlanmış oldu.

- 0.8615
- 0.8605
- 0.86
- 0.8625
- 0.861
- 0.862

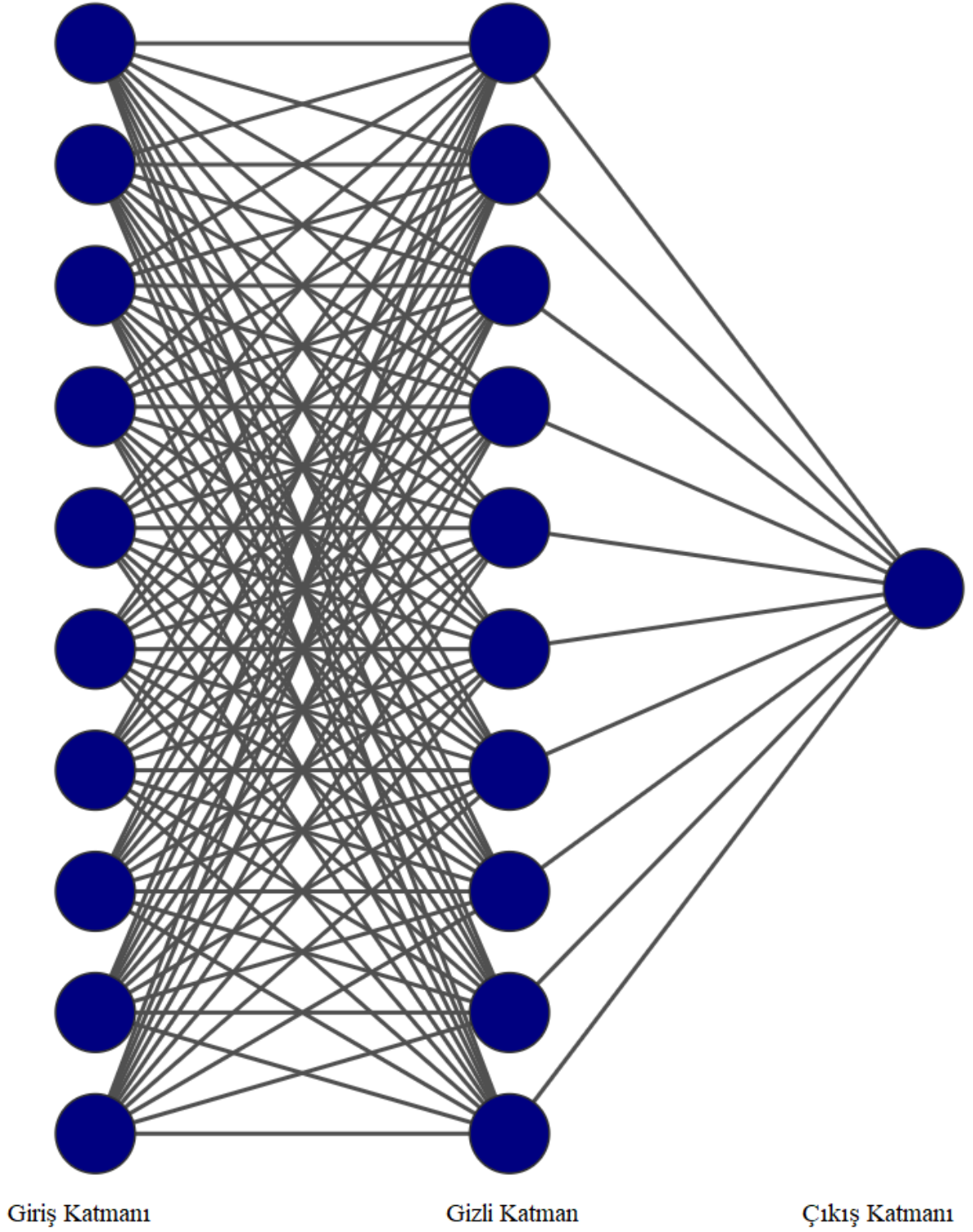
- 0.868
- 0.863
- 0.871
- 0.869

Yeni gelecek bir müşteri içinde aynı oranda bir doğruluk söz konusu olacaktır. Burada herhangi bir netlik söz konusu olmadan insan duygularının da yer alabileceği bir durumda tahmin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Bunun yanı sıra müşteri memnuniyeti için veri seti kullanarak oluşturulan yapay sinir ağında en iyi sonuç veren yöntem ve değerler aşağıda listelenmiştir:

- Evre Sayısı (Epochs): 100
- Küme Boyutu (Batch Size): 150
- Optimizasyon Algoritması (Optimizer): Adadelta
- Başlangıç Modu (Init Mode): glorot_normal
- Aktivasyon Fonksiyonu (Activation): softmax
- Düşürme Oranı (Dropout Rate):0.1
- Sinir Sayısı (Neurons): 10

Başta kurulan ağ yapısı incelendiği zaman 6 tane giriş ve gizli katman düğümü var iken son durum da 10 tane giriş ve gizli katman olması daha iyi çalışacak bir sonuca ulaşmamızı sağladı. Son durumda güncellenen yapay sinir ağını aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 10: Sonuç Yapay Sinir Ağı Modeli

Diğer parametrelerin verdiği sonuçlar da incelendiğinde farklı parametreler seçilerek bu doğruluk oranının tam tersi şekilde daha da düşmesine sebep olunabilir. Doğrusal olmayan

bir yapı söz konusu olduğu içinde direk olarak herhangi bir değişken seçimi yapabilmenin pek mümkün olmadığı görülmektedir.

GELECEKTE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR

kullanılabilir bir yapıya getirilebilir bir çalışma da gerçekleştirilebilir.

Literatür taraması ile YSA uygulanarak yapılmış olan çalışmalardan bahsettik. Yaptığımız çalışma kullanılarak ya da YSA uygulanarak neler yapılabileceğinden bahsedebiliriz.

Bu tez çalışması kullanılarak ya da yapay sinir ağı temel alınarak yapılabilecek çalışmaları sıralayacak olursak:

- Yapay sinir ağı model çıkartımı için bir sistem yazılarak gelen veri setine göre yapay sinir ağı modelinin oluşturulması sağlanabilir. Tekrar tekrar sistemi eğitmeye veya yapılan bu çalışmayı her seferinde yaparak zaman kaybetmeden en iyi modeli bularak bu modeli kaydedip bir sonraki çalışmada bu model üzerinden çalışmasını yapabilir.
- Makale de yer alan çalışma direk kullanılarak önceliği müşteri olan banka, market vb. büyük firmalar için ellerindeki müşteri verisini kullanarak ileriye dönük tahminler yapılabilir. Bu sayede hem var olan müşterileri kaybetmeden önlem alınabilecektir hem de yeni gelecek müşteriler için ikna etme alternatifleri bilinecektir.
- Kullanılan fonksiyon yöntemleri için yeni fonksiyonlar ve metotlar geliştirilebilir. Bunların eski sisteme göre artıları ya da eksileri ortaya çıkarılarak birden fazla birbirinden farklı veri setleri kullanılarak sonuçlar elde edilebilir. Bu sonuçların analizi ile bu bulunan yöntemlerin kullanılabilir olup olmadığını ve kullanılabiliriyorsa hangi tarz veri setinde veya yapay sinir ağı modelinde kullanılması daha uygun olunabileceği belirlenebilir.
- Kullanıcı ara yüzü olabilecek şekilde optimize edilerek yapılan çalışmanın son kullanıcı tarafında da yönetilebilir ve

Kaynaklar

- Akin E. (2018). Yapay Sinir Ağları – Artificial Neural Network (ANN).
- Basheer, I. ve Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application.
- Bishop, C. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning.
- Chung, H., Lee, S. ve Park, J. (2016). Deep neural network using trainable activation functions
- Courbariaux, M., Hubara, I., Soudry, D., El-Yaniv, D. ve Bengio, Y. (2016). Binarized Neural Networks: Training Neural Networks with Weights and Activations Constrained to +1 or -1.
- Diederik, K. ve Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization.
- Dozat, T. (2016) Incorporating Nesterov momentum into Adam.
- Duchi, J., Hazan, E. ve Singer, Y. (2011). Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization.
- Khan, J., Wei, J., Ringner, M., Saal, L., Ladanyi, M., Westermann, F., Berthold, F., Schwab, M., Antonescu, C., Peterson, C. ve Meltzer, P. (2001). Classification and diagnostic prediction of cancers using gene expression profiling and artificial neural networks.
- Mei, S. (2018). A Mean Field View of the Landscape of Two-Layer Neural Networks, Proceedings of the National Academy of Sciences.
- PARK, D., ELSHARKAWI, M., MARKS, R., ATLAS, L. ve DAMBORG, M. (1991). ELECTRIC-LOAD FORECASTING USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK.
- Rowley, H., Baluja, S. ve Kanade, T. (1998). Neural network-based face detection.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C., Guez, A., Sifre, L., Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search.
- Tieleman, T. ve Hinton, G. (2012). Lecture 6.5-rmsprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude. COURSERA: Neural Networks for Machine Learning.
- Yao, X. (1999). Evolving artificial neural networks.
- Zeiler, M. (2012). ADADELTA: An adaptive learning rate method.

Customer Satisfaction Analysis Using Artificial Neural Network

Extended abstract

One of the most important curiosity issues in today's technologies has been to predict the future. Many studies have focused on machine learning, but in nonlinear cases, classical machine learning methods are not enough. Artificial neural networks have entered our lives as a system that allow us to make predictions based on the available data.

All organizations working for the customers need to learn the satisfaction of their customers to gain more customers and keep their existing customers. A linear equation cannot be created for this satisfaction, since not only objective data but also human emotions can be introduced. By analyzing the data well, it is necessary to make the right decisions for new future customers and increase their permanence.

Classical machine learning is inadequate in this kind of practice, but automatically trained neural networks that include non-linear components can give results having high accuracies. Non-linear equations are established by means of artificial neural networks and it is aimed to make the best estimates. In recent years, comparisons and studies have shown that artificial neural networks give better results in nonlinear cases compared to classical machine learning methods. This study shows that better results can be obtained if satisfaction analysis are conducted on customers using deep learning methods.

Due to the fact that human emotions are taken into consideration in artificial neural network, always achieving 100% accuracy is not possible using a trained network. There are many reasons that affect human emotions and these reasons can be unrelated to each other. This decision-making process will also change from situation to situation. Therefore, the study for each data set should be repeated. However, the best artificial neural network model to be created after this study is completed in accordance with a data set model can be used repeatedly for the same kind of data.

Unlike other machine learning methods, the result is unique to its own data set and cannot be defined with any linear equation. Therefore, it is necessary to be able to create an artificial neural network model

which will give the best accuracy ratio by applying the procedures in accordance with each data set model.

Combining these methods using a computer by examining all the possibilities of each combination of different algorithms and parameters is a way to achieve good accuracy values. But in this case a lot of time and powerful systems are needed. So, this study progresses gradually within a short time. After finding the best result for a parameter in one step, it is tried to reach the parameter value which will give the best result depending on this parameter in other steps.

As a result, in this study, we found a result that is closer to the best result in a shorter time in the whole combination and brought a better result to our existing data set.

Keywords: ANN, Artificial Neural Network, Customer Satisfaction



İmleç Hareketlerine Ait EEG Sinyallerinin Sınıflandırılmasında Adaptif ve Adaptif Olmayan Filtrelerin Uygulamaları

Zeynelabidin SEVGİLİ

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
zeynel.sevgili@gmail.com ORCID: 0000-0002-5638-1864, Tel: 0(532) 566 2959

Mehmet AKIN*

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
makin@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-5439-4824, Tel: 0(412) 241 10 00 (3506)

Geliş: 29.06.2019, Revizyon: 29.10.2019, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Beyin Bilgisayar Arayüzü(BBA), herhangi fiziksel bir yeteneğe ihtiyaç duymadan insanın niyetinin veya kasıtlı düşüncesinin sınıflandırılması esas alınır. BBA çalışmalarında, veriler elektroensefalografi(EEG) yöntemi kullanılarak elde edilirken çevre kaynaklı(şebeke gürültüleri vs.) veya içsel(göz hareketleri, ECG vs.) bazı gürültülere maruz kalır. EEG verilerinin hassas bir şekilde sınıflandırılmasını önemli derecede etkileyebilecek gürültülerden biri de elektrookulografik(EOG) gürültülerdir. Bu çalışmada, Graz Üniversitesi tarafından yapılan BCI-IV yarışmasının 2a veri seti kullanılmıştır. 4 sınıflı veri seti 2 sınıfa indirgenerek sadece sağ ve sol imleç hareketlerinin offline sınıflandırılması amaçlanmıştır. 22 kanaldan alınan EEG verileri ile eş zamanlı, göz çevresine montajı yapılan 3 elektrottan da EOG verileri elde edilmiştir. Kullanılan veri setinde, EOG gürültülerini EEG sinyallerinden arındırmak için geleneksel bant geçiren filtreler ve recursive least square(RLS) adaptif filtresi kullanılmıştır. Motor hareket hayali ile uygun bantlara filtrelenmiş sinyallerden, ortak uzamsal örüntüler(CSP) metodu ile çıkarılan öznitelik vektörleri, lineer diskriminant analizi(LDA), destek vektör makinaları(DVM), naive bayes(NB) ve k-NN sınıflandırma algoritmalarının girişlerine uygulanmıştır. Chebyshev tip 2 ve DVM kombinasyonu %72'lik ortalama doğruluk oranı ile en yüksek sınıflandırma performansını sağlamıştır. Ayrıca RLS adaptif filtresi ile elde edilen sınıflandırma sonuçları bant geçiren filtrelerin sonuçları ile mukayese edilmiştir. RLS algoritması ve LDA kombinasyonu, %64 doğruluk oranı ile geleneksel bant geçiren filtreler ile elde edilen sonuçlardan daha düşük performans göstermiştir. Çalışmada elde edilen bulgular literatürü destekler niteliktedir. Çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak çalışmalara da ışık tutabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif filtre, Recursive least square, Beyin bilgisayar arayüzü, Elektrookulogram, Elektroensefalografi, Geleneksel bant geçiren filtreler, Ortak uzamsal örüntüler

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

İnsanoğlu olağanüstü donanımlar ile teçhiz edilmiş ve doğada tasarruf yeteneğine sahip tek canlıdır diyebiliriz. Diğer canlılar kendi habitatları içerisinde, genel ekosisteme kabiliyetleri ölçüsünde katkı yaparken insanoğlu akıllı, vücut uzuvları ve diğer kabiliyetleri ile dünya dışı yaşamı bile etkileyebilecek donanımlara sahiptir. Bu donanımların en önemli olanlarından biri de şüphesiz iletişim yeteneğidir. İnsan sahip olduğu beyin, dil, gırtlak vs. gibi organların koordinasyonu ile diğer insanlar hatta gelişen teknoloji vasıtasıyla cihazlar dahi iletişim kurabilir. Bu şekilde hayatı için lazım olan ihtiyaçlarını karşılamaya çalışır. Fakat bu durum bütün insanlar için geçerli değildir. ALS(Amyotrophic Lateral Sclerosis), felç, MS (Multiple Skleroz) vs. gibi hastalıklar insanın motor becerilerinin tamamen kısıtlanmasına neden olabilir. Bunun sonucunda kişi, kasıtlı kas hareketlerinden mahrum kalır. Bu durumda beyin normal aktivitesine devam ederken beyinden uzuvlarına komutlar aktarılamaz. Yani diğer bir deyişle beyin her şeyin farkındadır. Akıncı (2010) Fakat her hangi bir uzvunu hareket ettirecek kabiliyetten mahrum kalmıştır. Beyin bilgisayar arayüzü(BBA) bu tarz hastalara çözümler sunmak için geliştirilen önemli teknolojilerden biridir. Bunun haricinde BBA, sanal gerçeklik, etkin ifade, internete erişim, tekerlekli sandalye kontrolü, video oyunları gibi bir çok alan için uygulamalar geliştirmektedir.

Beyin Bilgisayar Arayüzü(BBA) çalışmalarında, beynin aktivitelerini anlamlandırma esastır. Bu aktiviteler ile insanın niyeti anlamlandırılmaya çalışılır. Bu şekilde vücudun diğer organlarına ihtiyaç duymadan insanın niyetinin okunması amaçlanır. Yine Sinyal işleme teknikleri(DSP) ve çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile insanın isteklerinin komutları, harici bir cihaza aktarılması amaçlanır. Bunlar büyük oranda başarılı olduğu takdirde BBA, insanların hayatlarını kolaylaştıracak çok büyük gelişimlere kapı

açabilir. Dolayısıyla bu teknoloji hayata hizmet hususunda büyük anlamlar kazanır.

BBA çalışmaları ile ilgili ilk girişimler 1964'te başlamıştır. Fakat bu alanla ilgili dikkate değer çalışmalar,1990'lı yılların başında yoğunlaşmıştır. Bu süreçle birlikte her yıl, yapılan çalışma ve yayınlanan yayın sayısında önemli derecede artışlar olmuştur.

Bu bağlamda, bazı çalışmalarda regresyon ve ICA yöntemi sentezlenerek EOG gürültüleri giderilmiştir. (Cheok, N. S., ve Raveendran, P. 2008). Kai Keng Ang vd. (2008), çalışmalarında, Graz Üniversitesi tarafından yapılan yarışmanın BCI III-IVa veri setini kullanarak EEG sinyallerinden elde edilen sağ el ve sol ayak motor hayali hareketlerini sınıflandırmışlardır. Önerilen çalışmada, deneğe özel frekans verileri için bir algoritma(FBCSP) geliştirilmiştir. Bu algoritma ile farklı frekans bantlarındaki verilerden CSP ile otomatik özellik seçimi yapılmıştır. Bir kısım araştırmacılar, EEG sinyallerinden EOG gürültülerini arındırmak için tek veya çift referanslı, işlem maliyeti düşük ve hızlı RLS adaptif filtrelerini kullanmışlardır (He, P., Wilson, vd; Kumar, P. S. vd. 2009). Bazı araştırmacılar sınıflandırma performansını artırmak için ICA(independent component analysis) yöntemini kullanmışlardır (Hsu, W. Y. vd. 2012). Bazı çalışmalarda, sınıflandırma performanslarını arttırmak için kişinin spektral özelliklerine uygun adapte olabilen filtreler geliştirilmiştir (Belwafi, K. vd. 2014). LI Ming-Ai vd. (2009), çalışmalarında, geleneksel CSP yöntemini modifiye ederek sınıflandırma performansı daha yüksek bir yöntem sunmuşlardır. Akıncı ve Güneri(2010), yapmış oldukları çalışmada, çevrimiçi ipucu-bazlı sağ ve sol el motor hayallerini sınıflandırmaya yönelik bir BBA sistemi geliştirmişlerdir. Neethu Robinson ve Cuntai Guan (2011), yapmış oldukları çalışmada, el hareketinin yönünü tespit eden wavelet tabanlı CSP(common spatial pattern) algoritmasını sunmuşlardır. Önder Aydemir (2016), CSP

teknîği ile öznitelik vektörleri çıkarılan EEG sinyallerinin sınıflandırma performanslarını yükseltmek için EEG sinyallerindeki en iyi zaman aralığını seçecek bir algoritma geliştirmiştir. BBA çalışmalarında karşılaşılan zorluklardan biri olan kişiye özgü öznitelik vektörlerini seçme hususuna bir alternatif sunmuştur.

Bu çalışmada, Graz Üniversitesi tarafından yapılan BCI IV-2a EEG veri seti kullanılmıştır. Normalde dört sınıftan oluşan veri seti, sağ ve sol imleç motor hayali olmak üzere iki sınıfa indirgenerek veri üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. EEG ve EOG verilerinin ayrı ayrı kaydedildiği veri setinin EOG ile gürültülü EEG sinyali primer girişe ve göz çevresinden alınan EOG1 verisi de RLS adaptif filtresinin referans girişine uygulanmıştır. Filtrenin çıkışında da gürültüden arındırılmış temiz bir sinyal elde edilmiştir. Adaptif filtre ile yapılan çalışmada kullanılan RLS algoritması, filtre katsayılarını güncelleyerek hatayı minimize etme tekniğine dayalıdır. Yapılan çalışma, motor hareket hayali sinyallerinin, adaptif filtre ve geleneksel filtreler ile filtrelendikten sonra farklı algoritmalar ile sınıflandırma sonuçlarının mukayesesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde materyal ve metod kısımlarına değinilecektir. Çalışmanın ikinci kısmında, veri setine çalışmada kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, uygulama esnasındaki prosesler açıklanmıştır. Çalışmanın son kısmı olan sonuç ve öneriler kısmı ise, elde edilen bulgularla ilgili yorumları ve çalışmanın gelecek projeksiyonunu içermektedir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Kullanılan veri seti 2008 de Graz Üniversitesi tarafından sağlanan yarışmada(BCI Competition 2008) kullanılan veri setlerinden biridir. Tablo 1'de dosya isimleri verilen ve Dataset Ila olarak adı geçen veri seti, 9 farklı

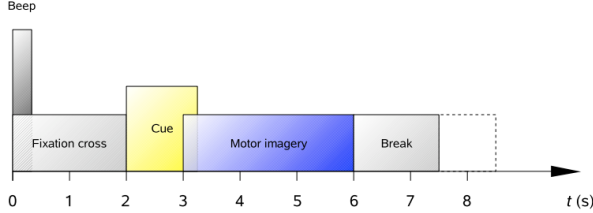
denekten alınan EEG verilerini kapsamaktadır. Her bir denek sandalyeye oturur vaziyette ve ekrandan 1 m göz uzaklıkta bulunacak şekilde konumlandırılmıştır. Her bir denek için 2 oturum gerçekleştirilmiştir. Her bir oturum 6 süreçten oluşmaktadır. Her bir süreç 48 denemeden oluşmaktadır. Her bir oturum için toplamda 288 deneme mevcuttur. Sağ el hareket hayali, sol el hareket hayali, ayak hareket hayali ve dil hareket hayali olmak üzere veri seti 4 sınıfı kapsamaktadır. Yapılan çalışmada, deneklerin kayıtlarından sağ ve sol el imleç hareketlerini içeren denemeler çekilmiştir. Dolayısıyla yapılan çalışma, sağ el motor hayali ve sol el motor hayalini kapsamaktadır. (University of Graz 2008) Oturum dosyaları ve isimleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1

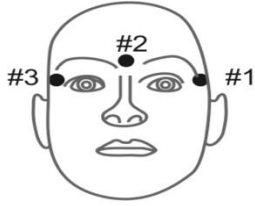
ID	Eğitim Verileri	Test Verileri
1	A01T.gdf	A01E.gdf
2	A02T.gdf	A02E.gdf
3	A03T.gdf	A03E.gdf
4	A04T.gdf	A04E.gdf
5	A05T.gdf	A05E.gdf
6	A06T.gdf	A06E.gdf
7	A07T.gdf	A07E.gdf
8	A08T.gdf	A08E.gdf
9	A09T.gdf	A09E.gdf

Her bir denemenin başında($t = 0$ s), deneğin hazırlanması için siyah ekranda bir (+) işareti belirir. Denek ekranda (+) işaretiyle eşzamanlı bir bip sesi duyar. 2 saniye sonra 1.25 saniye sürecek şekilde ilgili sınıfın imleç hareketini(sağ, sol, yukarı ve aşağı) belirten bir ok deneğe gösterilir. Bu imleç hareketleri sırasıyla sağ el hareket hayali, sol el hareket hayali, ayak hareket hayali ve dil hareket hayali sınıflarına aittir. Bu ok işareti deneğin motor hareket hayali için hazırlanması gerektiğini belirten bir işarettir. İlgili ok işareti ekrandan kaybolana kadar($t = 6$

sn) deneğin ilgili motor hareket hayalini gerçekleştirmesi istenir. Ekranın tekrardan siyah olmasıyla denekten yaklaşık 2 saniyelik bir ara vermesi istenir. Yarışmada sunulan paradigma Şekil 1'de gösterilmiştir.

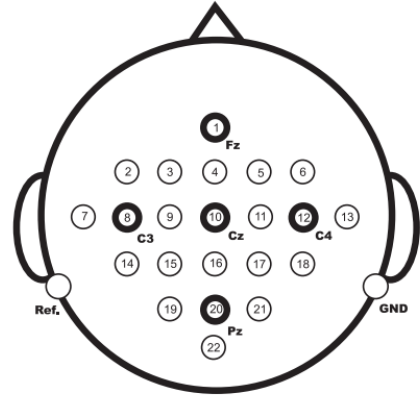


Şekil 1. Örnek bir denemenin zamana bağlı olaylar silsilesi (University of Graz, 2008)



Şekil 2. Üç Monopolar EOG kanalının elektrot Montajı

EEG verileri Şekil 3'te gösterilen elektrot lokasyonlarından 250 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Veriler, 22 EEG ve 3 EOG kanalından kaydedilirken 0.5 Hz ve 100 Hz spektral aralığı kapsayacak şekilde bandpass filtreden geçirilmiştir. Buna ek olarak şebeke frekansını baskılamak için 50 Hz'lik Notch filtresi kullanılmıştır. Fz elektrot lokasyonu, referans elektrotu olarak kullanılmıştır.



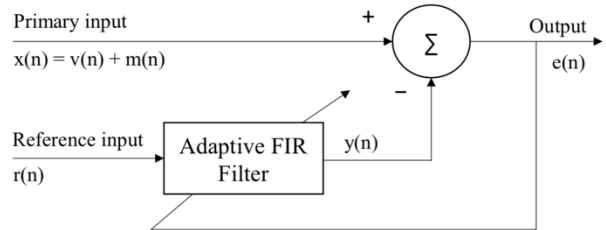
Şekil 3. 22 kanallı elektrot lokasyonları

EOG kanallarından ise Şekil 2'de gösterildiği gibi 3 monopolar elektrot ile kayıtlar alınmıştır.

Yöntem

a. Adaptif Filtre

Adaptif filtre, belli değişkenler ile kontrol edilebilen bir transfer fonksiyonuna sahip ve bir optimizasyon algoritması ile bu değişkenleri optimize edilebilen lineer bir filtredir. Bir sinyale karışmış gürültüyü çıkaracak veya minimize edecek adaptif filtrenin blok diyagramı şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Adaptif filtre sisteminin blok diyagramı

Blok diyagramı verilen adaptif filtre sistemi iki girişe sahiptir. Birincil giriş $x(n)$, istenmeyen bir $m(n)$ gürültüsü ile kirlenmiş $v(n)$ istenilen sinyalini temsil eder. Referans sinyali, $r(n)$, bir şekilde birincil girişteki $m(n)$ sinyali ile korelasyonu vardır. Gürültü giderici adaptif filtrenin amacı, birincil girişteki gürültü oranı tahmin edilerek ve tahmin edilen gürültünün birincil sinyalden çıkarılmasıdır. Bu çalışmada, birincil girişe EOG ile kirlenmiş EEG sinyali, referans girişine ise üç monopolar EOG

kanalından alınan herhangi bir EOG sinyali uygulanarak birincil girişteki gürültülü EEG sinyalinin EOG'den arındırılması amaçlanmıştır.

b. RLS Algoritması

RLS yönteminde, Lineer Regresyondaki gibi cost fonksiyonu kullanılır. MSE(Mean Squared Error) kademeli olarak azaltma esasına dayanır. Least Mean Square(LMS)'den farklı olarak rasgelelik yoktur. Çözüme hızlı ulaşan bir algoritmadır. Bu yönüyle online işlemlerde de kullanılabilir.

RLS algoritması;

$$\pi(i) = P(i-1)x(i) \quad (1)$$

$$k(i) = \frac{\pi(i)}{\lambda + x^H(i)\pi(i)} \quad (2)$$

$$\varepsilon(i) = d(i) - w^H(i-1)x(i) \quad (3)$$

$$w(i) = w(i-1) + k(i)\varepsilon^*(i) \quad (4)$$

$$P(i) = \lambda^{-1}P(i-1) - \lambda^{-1}k(i)x^H(i)P(i-1) \quad (5)$$

denklemleri ile ifade edilir. Her bir i anında tahmin edilen ağırlıklar, $i+1$ zamanına adapte olarak çözüme gidilir. RLS algoritmasında matrislerin tersini almaya gerek duyulmaz. Bu yüzden RLS algoritmasının işlem maliyeti düşüktür.

c. Ortak Uzamsal Örüntüler(Common Spatial Patterns)

Motor hayali çalışmalarında, öznitelik vektörü çıkarma hususunda en yaygın kullanılan metot, ortak uzamsal örüntüler metodudur. CSP metodu, bir sınıfın varyansını maksimuma çıkarırken aynı anda diğer sınıfın varyansını minimize eden bir algoritmadır (Aydemir Ö. 2016). EEG sinyalinin normalize edilmiş uzamsal kovaryans matrisi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$M = \frac{DD^T}{\text{trace}(DD^T)} \quad (6)$$

D , bir denemenin $C \times S$ (C , kanal sayısı ve S örnek sayısı) matrisini belirtir. trace , DD^T diagonal elemanların toplamını temsil eder. Uzamsal kovaryans matrisi her bir sınıfın denemesinin ortalaması ile hesaplanır. Ortaya çıkan iki sınıflı matris toplanır ve aşağıdaki kompozit kovaryans matrisi M_C elde edilir.

$$M_C = M_1 + M_2 \quad (7)$$

M_C , öz vektörleri ve özdeğerlerini içerecek şekilde aşağıdaki gibi tekrardan düzenlenebilir.

$$M_C = E_C \lambda_C E_C^T \quad (8)$$

Denklem 8'de E_C matrisin öz vektörleri ve λ diagonal matrisin özdeğerlerini temsil eder. Varyansları eigen düzleminde birbirine eşitleyen dönüşüm,

$$W = \sqrt{\lambda_C^{-1}} E_C^T \quad (9)$$

formülü ile hesaplanır. W , ortalama kovaryans matrislerinin dönüşümünde,

$$K_1 = W M_1 W^T \quad K_2 = W M_2 W^T \quad (10)$$

şeklinde kullanılır. K_1 ve K_2 ortak öz vektörlerini paylaşır ve iki matrisin özdeğerlerinin toplamı her zaman 1'e eşittir.

$$K_1 = U \lambda_1 U^T \quad K_2 = U \lambda_2 U^T \quad (11)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = I \quad (12)$$

Yukarıdaki denklemde I eş matristir. Son olarak projeksiyon matrisinde,

$$P = (U^T W)^T \quad (13)$$

Kolonlar P^{-1} , ortak uzamsal örüntülerdir. Projeksiyon matrisi ile birlikte, her bir denemenin ayrıştırılması,

$$V = \frac{\sum(Z_R - \bar{Z}_R)^2}{L-1}$$

(14)

Denklem 13'te Z_R , Z matrisinin bir satırı ve L ise bu satırın uzunluğudur.

d. Sınıflandırma Algoritmaları ve Performans Kriterleri

Bu çalışmada, Sınıflandırma algoritması olarak Linear Diskriminant Analizi(LDA), Naive Bayes(NB), K En Yakın Komşu Algoritması(k-NN) ve Destek Vektör Makinaları(DVM veya SVM) kullanılmıştır. Kullanılan sınıflandırma algoritmalarının lineer veya non-linear olması durumlarına göre çıkarımlar yapılmıştır.

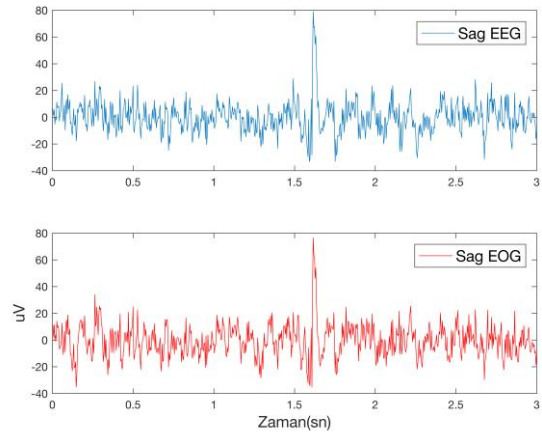
Performans ölçümleri 2 kritere göre yapılmıştır. Bu kriterlerden birincisi Doğruluk(Accuracy), ikincisi ise Kappa Skor'dur. Sınıflandırma işlemlerinde daha gerçekçi başarımlar elde etme amacıyla Cohen tarafından 1960 yılında sunulan Kappa Skor hem çoklu hem de 2 sınıflı uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır.

Uygulama

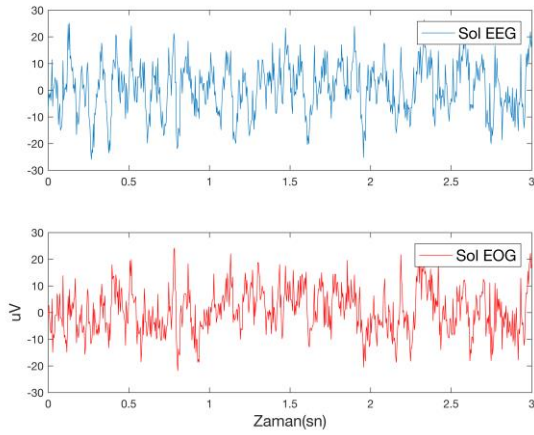
4 sınıflı ve 288 deneme olan veri seti, Matlab ortamında belli proseslerden geçirilerek 2 sınıflı(sağ ve sol el) ve dolayısıyla 144 deneme haline getirilmiştir. Bu şekilde bir eğitim veya test verisi, 144 denemeden oluşmaktadır. Her bir denemenin içerisinde 22 EEG kanalı ve 3 EOG kanalı mevcuttur. Veri ön işleme kısmının ikinci aşamasında her bir deneye ait her bir denemenin 22 kanalı ayrı ayrı bandpass ve adaptif filtrelerinden geçirilmiştir. Motor hayali verilerinin bulunduğu spektral aralık 8-30 Hz olduğundan veriler, bandpass filtreleri ile 8-30 Hz frekans aralığına filtrelenmiştir. Bu şekilde EOG'den kaynaklı yüksek frekans bileşenleri de toplamda 22 kanallı her bir EEG denemesinden temizlenmiştir. Adaptif filtre ile temizleme aşamasında EOG1 kanalı(23. Kanal), adaptif filtrenin referans girişine, gürültülü her bir EEG denemesinin 22 kanalı, adaptif filtrenin birincil girişine(Primary Input) sırayla uygulanmıştır.

Adaptif filtrenin çıkışında her bir EEG denemesinin 22 kanalı EOG'den arındırılmıştır. Temizlenmiş deneme verileri ayrı ayrı CSP metoduna tabi tutulmuştur. Bu şekilde her bir denemenin 22 kanalı CSP algoritmasına giriş olarak uygulanmıştır. CSP algoritmasının çıkışında her bir denemeden 4 öznitelik vektörü elde edilmiştir. CSP ile çıkarılan bu 4 öznitelik vektörü, Naive Bayes, SVM, k-NN ve LDA sınıflandırıcılarının girişlerine uygulanmıştır. Konfüzyon matrisleri elde edilen verilerin her bir sınıflandırıcı ile ilgili accuracy ve kappa metrik performans değerleri elde edilmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'da sınıflandırmaya dahil edilecek sağ ve sol el motor hareket hayali EEG verilerinin C3 kanalı verisi ve bu EEG sinyallerinden temizlenecek EOG sinyallerinin 3 saniyelik örnek kesitleri Matlab ortamında zaman domeninde çizdirilmiştir. 3 saniye, 250 Hz ile örneklenmiş frekansın 750-1500 sample(örnek) aralığını kapsıyor.

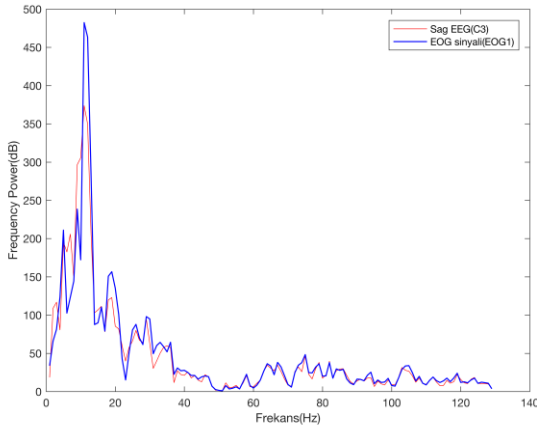


Şekil 5. Örnek sağ el motor hayali EEG ve EOG sinyali

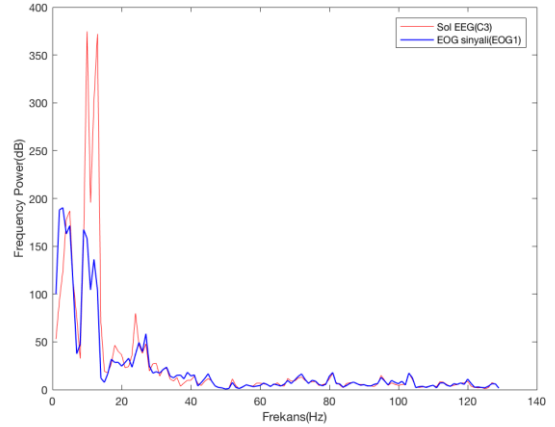


Şekil 6. Örnek sol el motor hayali EEG ve EOG sinyali

Şekil 7 ve Şekil 8'de, yukarıda, zaman domeninde çizdirilen sağ ve sol motor hareket hayali sinyalleri, welch psd yöntemiyle frekans domeninde çizdirilmiştir. Bu şekilde sinyallerin güç yoğunluklarının hangi bantlara yayıldığı gözlemlenebilir.



Şekil 7. Örnek sağ el motor hareket hayali C3 kanalı verisi ve EOG1 sinyalinin spektral gösterimi



Şekil 8. Örnek sol el motor hareket hayali C3 kanalı verisi ve EOG1 sinyalinin spektral gösterimi

Şekil 7 ve Şekil 8'de motor hayali sinyallerinin alfa ve beta bandına yayıldığı gözlemlenebiliyor. EOG sinyalleri farklı durumlarda 1-2 Hz, 2-4 Hz, 4-8 Hz, 8-16 Hz, 16-30 Hz ve az da olsa 30 Hz üstünde spektral değişimler gösterir (Daud, W. B. W., ve Sudirman, R. 2011). EOG sinyallerinin 8-16 Hz spektral özellikler sergilemesi, motor hayali EEG sinyallerini de etkiler. Çünkü motor hayali sinyallerinde spektral öznitelikler çıkarılırken çoğunlukla 8-30 Hz frekans bandı öznitelik olarak seçilir. Şekil 7 ve Şekil 8'de eşzamanlı alınan EOG gürültüsünün spektral karakteristiklerinin bazı noktalarda EEG sinyallerini etkilediği gözlemlenebiliyor. Bu noktada veri ön işleme kısmında yapılması gereken iş sınıflandırılabilir esas ayırt edici bilgiye zarar vermeden gürültü bileşenini ortadan kaldırmaktır. Bu durum için RLS algoritması ve klasik bant geçiren filtrelerden chebyshev I, chebyshev II ve Eliptik filtreler seçilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Başarımlar

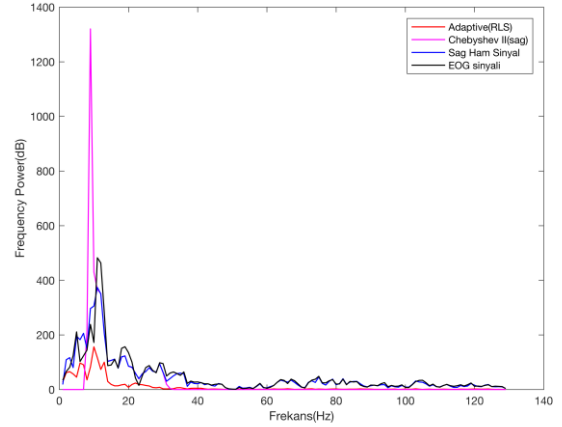
Tablo 2'de, 9 denek için kullanılan bütün filtrelerin ortalama sınıflandırma performansları gösterilmiştir. Chebyshev II filtresi SVM ile %72 ortalama sınıflandırma performansı ile bütün filtrelere kıyasla en yüksek sonuçlara ulaşmıştır. Chebyshev I filtresi en yüksek sınıflandırma performansını, %69 ortalama sınıflandırma performansı ile LDA

sınıflandırıcısı ile elde etmiştir. Elliptic filtre %68 ortalama sınıflandırma performansını %68 ile elde etmiştir. Adaptif filtre, %64 ortalama sınıflandırma performansını LDA kombinasyonu ile elde etmiştir. Tablo 2'ye bakarak sınıflandırıcı bazında en yüksek performansın lineer sınıflandırıcılara (SVM ve LDA) ait olduğu çıkarımı yapılabilir. Naive Bayes ve k-NN algoritması lineer sınıflandırıcılara göre daha düşük performans göstermiştir. Tablo 2'de belki de en çok dikkat edilen noktalardan biri adaptif filtrenin diğer sınıflandırıcılara göre düşük performans sergilemesidir. Bunun önemli nedenlerinden biri motor hareket hayali bilgisinin 7.5-30 Hz arasında olmasıdır. Yüksek performans elde edebilmek için yapılan bant geçiren filtre kalibrasyonlarında en yüksek performans sonuçları, 7.5 Hz ile 21 Hz aralığına kalibre edilen bant geçiren filtrelerden elde edildi. Bu aslında motor hareket hayali bilgisinin 7.5-30 Hz arasında olmasını teyit eder niteliktedir. Şekil 9 ve Şekil 10'da örnek bir sol el ve sağ el motor hareket hayalinin frekans güç yoğunlukları çizdirilmiştir. Her iki çizelge de adaptif filtrenin EOG sinyalini temizlediği görülebiliyor. Fakat adaptif filtrenin 30 Hz üzerindeki frekansları baskılamadığı ve adaptif filtre ile temizlenen sinyalin 30-130 Hz aralığında frekans bileşenlerine sahip olduğu görülüyor. Yapılan bant geçiren filtre kalibrasyonlarından anlaşılacağı gibi 30 Hz üzerindeki frekans bileşenleri genel anlamda sınıflandırma performansını düşürecek niteliktedir.

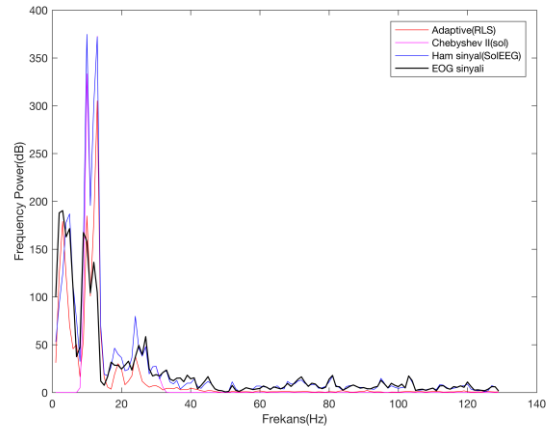
Tablo 2. 4 filtre ile elde edilen ortalama sınıflandırma performansları

CHEB. TYPE I	k-NN	NB	SVM	LDA
DOĞRULUK	0,62	0,67	0,68	0,69
KAPPA SKOR	0,24	0,35	0,36	0,37
CHEB. TYPE II	k-NN	NB	SVM	LDA
DOĞRULUK	0,67	0,68	0,72	0,71
KAPPA SKOR	0,38	0,40	0,43	0,42
ELLİPTİK FİLTRE	k-NN	NB	SVM	LDA

DOĞRULUK	0,62	0,66	0,67	0,68
KAPPA SKOR	0,24	0,33	0,34	0,36
ADAPTİF FİLTRE	k-NN	NB	SVM	LDA
DOĞRULUK	0,59	0,60	0,62	0,64
KAPPA SKOR	0,20	0,22	0,29	0,31



Şekil 9. Örnek sol el motor hareket hayalinin C3 kanalının frekans gücü yoğunluğu



Şekil 10. Örnek sağ el motor hareket hayalinin C3 kanalının frekans gücü yoğunluğu

Tablo 3'te her bir deneğe ait filtre-sınıflandırıcı kombinasyonlarının en yüksek performans değerleri gösterilmiştir. 3. Denek, 10-20 Hz elliptik filtre kalibrasyonu ve LDA sınıflandırıcısıyla %100'lük bir doğruluk oranına yükselmiştir. Ayrıca belirtilen frekans kalibrasyonu ile 3. Denek üzerinde Naive Bayes sınıflandırıcısı da %100'lük doğruluk performansı göstermiştir. 3. Denek ile ilgili elliptik filtre sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Bu oranlar, çalışmada yapılan bütün varyasyonlardan en başarılı performanslarıdır.

Tablo 3. En yüksek filtre-sınıflandırıcı performansları kombinasyonları

	ACCURACY	KAPPA	FİLTRE- SINIFLANDIRICI KOMBİNASYONU
1. DENEK	%80	0.60	(CHEB.II+LDA)
2. DENEK	%61	0.22	(CHEB.II + LDA)
3. DENEK	%100	1	(ELLIPTIC + LDA)
4. DENEK	%60	0.19	(CHEB.II + SVM)
5. DENEK	%58	0.15	(CHEB.I + NB)
6. DENEK	%57	0.13	(CHEB.I + NB)
7. DENEK	%72	0.43	(CHEB.II+ LDA)
8. DENEK	%94	0.88	(CHEB.II + SVM)
9. DENEK	%80	0.60	(CHEB.II+SVM)

Tablo 4. En yüksek sınıflandırma performansı (Elliptic filtre, 3. Denek)

	K-NN	NB	SVM	LDA
DOĞRULUK	%94	%100	%99	%100
KAPPA SKOR	%88	%100	%98	%100

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, sağ ve sol motor hareket hayalinin, EEG verileri üzerinde oluşan etkilerini tespit etme amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, EOG verileri kullanılarak temizlenen adaptif filtreler ve non-adaptif filtreler ile temizlenen EEG verilerinin sınıflandırma sonuçlarına mukayesesi amaçlanmıştır.

Adaptif filtre olarak RLS algoritması ve bant geçiren filtre olarak Chebyshev I, Chebyshev II ve Elliptik filtreleri seçilmiştir. Bu filtrelemelerden elde edilen veriler öznitelik

çıkarma yöntemi olan CSP algoritmasına giriş olarak uygulanmıştır. Her bir denemenin 22 kanalı CSP algoritmasına giriş olarak verilmiştir. CSP algoritmasının çıkışında her bir deneme için 4 öznitelik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen bu öznitelik vektörleri k-NN, Naive Bayes, SVM ve LDA sınıflandırma algoritmalarının girişine uygulanmıştır. Sınıflandırma sonuçları, Doğruluk, Kappa Skor performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

9 deneğin ortalama performansı dikkate alındığında, en yüksek performans ortalamasını, %72'lik doğruluk performansı ve %43'lük kappa skoru ile chebyshev 2+LDA sınıflandırıcısı kombinasyonu göstermiştir. Sınıflandırıcı bazında ortalama başarımlarda LDA ve SVM, k-NN ve Naive Bayes'ten daha yüksek performans sergilemiştir. 3. denek üzerinde Elliptik filtre ve LDA kombinasyonu %100 doğruluk oranı ve 1 kappa skoru ile en yüksek başarımları sağlamıştır. RLS adaptif filtresi ile yapılan sonuçların diğer filtreler göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, sağ ve sol motor hareket hayalini tespit, non-adaptif filtreler ile yapılan uygulama, adaptif filtre ile yapılan uygulamadan daha iyi sonuçlar vermiştir. Çünkü motor hareket hayali bilgisi frekans aralığının üzerindeki etki aralığı 8-30 Hz olduğu bilinmektedir. Bu aralığın belli olması ve non-adaptif filtrelerin kesim frekansı bölgesi bilindiği için non-adaptif filtre kullanım imkanı oluşmaktadır. Bu gerekçeden ötürü, yapılan çalışmamızda, non-adaptif filtre ile yapılan uygulama sonuçları, adaptif RLS filtresi uygulama sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlara göre kesim frekansları belli olmayan gürültüleri gidermede adaptif filtreler önerilebilir.

Kaynaklar

- Akinci B. (2010). Realization of a cue based motor imagery brain computer interface with its potential application to a wheelchair. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 157
- Ang, K. K., Chin, Z. Y., Zhang, H., & Guan, C. (2008). Filter bank common spatial pattern (FBCSP) in brain-computer interface. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, IEEE World Congress on Computational Intelligence, P. 2390-2397.
- Aydemir, Ö. (2016). Common spatial pattern-based feature extraction from the best time segment of BCI data. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 24(5), 3976-3986
- Belwafi, K., Djemal, R., Ghaffari, F., & Romain, O. (2014, December). An adaptive EEG filtering approach to maximize the classification accuracy in motor imagery. In 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence, Cognitive Algorithms, Mind, and Brain (CCMB) (pp. 121-126). IEEE.
- Cheok, N. S., & Raveendran, P. (2008). Removal of EOG artifacts using ICA regression method. In 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008 (pp. 226-229). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Daud, W. B. W., & Sudirman, R. (2011, May). Time frequency analysis of electrooculograph (EOG) signal of eye movement potentials based on wavelet energy distribution. In 2011 Fifth Asia Modelling Symposium (pp. 81-86). IEEE.
- He, P., Wilson, G., & Russell, C. (2004). Removal of ocular artifacts from electro-encephalogram by adaptive filtering. Medical and biological engineering and computing, 42(3), 407-412.
- Hsu, W. Y., Lin, C. H., Hsu, H. J., Chen, P. H., & Chen, I. R. (2012). Wavelet-based envelope features with automatic EOG artifact removal: Application to single-trial EEG data. Expert Systems with Applications, 39(3), 2743-2749.
- Kumar, P. S., Arumuganathan, R., Sivakumar, K., & Vimal, C. (2009). An adaptive method to remove ocular artifacts from EEG signals using wavelet transform. J. Appl. Sci. Res, 5(7), 711-745.
- Robinson, N., Vinod, A. P., Guan, C., Ang, K. K., & Peng, T. K. (2011). A Wavelet-CSP method to classify hand movement directions in EEG based BCI system. In 2011 8th International Conference on Information, Communications & Signal Processing (pp. 1-5). IEEE.
- University of Colorado, (2019), Adaptive Filters, Chapter 8, 1-26

Applications of Adaptive And Non-Adaptive Filters For Classification Of EEG Signals of Motor Imagery

Extended abstract

Brain Computer Interface(BCI) is based on the classification of human intentions or intentional thought without the need for any physical ability. In BCI studies, signals which obtained using Electroencephalography(EEG) exposed to some environmental or internal noise (eye movements, ECG, etc.). One of the artifacts that can significantly affect classification accuracy is electrooculogram(EOG). In this study, BCI competition IV dataset 2a was used which was organized by the University of Graz. The data set with 4 classes was reduced to 2 classes and only the right and left motor imagery data were classified according to the offline paradigm. Training and test data were obtained from 9 subjects. Two sessions were conducted for each subject. Each session consists of 144 trials for two classes, right and left. Simultaneously with EEG data from 22 channels, EOG data were obtained from 3 electrodes mounted around the eye. The data was filtered through a bandpass filter to cover the spectral range of 0.5 Hz and 100 Hz. In addition, a 50 Hz Notch filter is used to suppress the grid frequency. Conventional bandpass filters and recursive least square (RLS) adaptive filters are used to remove EOG noise from EEG signals. In each trial, the 3-6 second time period of right and left hand motor imagery was included in the study. The specified time period (3 seconds) covers the 750-1500 sample range of the frequency sampled at 250 Hz. Feature vectors extracted from filtered signals by CSP method were applied to the inputs of linear discriminant analysis (LDA), support vector machines (SVM), naive bayes (NB) and k-NN classification algorithms. The combination of Chebyshev type 2 filter and SVM achieved the highest classification performance with an average accuracy of 72%. On a classifier basis, LDA and SVM outperformed k-NN and Naive Bayes in average performances. On the third subject, the elliptical filter and LDA

combination achieved the highest performance with 100% accuracy and 1 kappa score. Furthermore, the classification results obtained with the RLS adaptive filter were compared with those of the bandpass filters. The combination of the RLS algorithm and the LDA classifier showed lower performance than traditional bandpass filters with a 64% accuracy rate. In the study, it was confirmed by welch's power spectral density diagrams that the motor imaginary information was between 7-30 Hz. The findings of the study support the literature and may shed light on future studies.

Keywords: Adaptive filter, Recursive least square, Brain Computer Interface, Electrooculogram, Electroencephalography, Traditional bandpass filters



Uzun Kısa Süreli Hafıza ve Evrişimsel Sinir Ağları ile rüzgâr enerjisi üretim tahmini

Pelin GÖRGEL*

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
paras@istanbul.edu.tr ORCID: 0000-0001-8884-1290, Tel: (212) 473 70 70 (17460)

Erkan KAVLAK

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
erkan.kavлак@gmail.com

Geliş: 25.07.2019, Revizyon: 12.10.2019, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Rüzgâr türbinleri rüzgârın hızı yardımıyla elektrik enerjisi elde etmeyi sağlamaktadır. Rüzgârın yön ve hızı, coğrafi farklılıklar ve homojen olmayan ısınmaya bağlı zamansal farklılıklar gösterir. Rüzgâr hızı yükseklik arttıkça artar, rüzgâr gücü hıza bağlı olarak yükselir. Rüzgâr türbinleri kullanılarak rüzgâr enerjisi kaynaklı elektrik üretim uygulamaları ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıyla beraber gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada amaç geliştirilen makine öğrenmesine dayalı bir sistem yardımıyla elektrik enerjisi üretim tahmini yapılarak kullanılan rüzgâr gücünün değişkenliği gibi dezavantajların üstesinden gelmektir. Ayrıca dengesiz maliyetleri azaltma ve üretim tahmininde yapılacak iyileştirme ile santralin kâr maksimizasyonunu sağlama hedeflenmektedir. Çalışmamızda Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) ve Uzun Kısa Süreli Hafıza (UKSH) metodlarının hibrit olarak önerildiği ve ESA-UKSH olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır. Kullanılan veri seti İzmir Urla bölgesine ait rüzgâr türbininden alınan gerçek verilerdir. Bu veri seti bir yıla ait günlük ve hatta onar dakikalık çözünürlükte rüzgâr hızı verilerinden oluşmaktadır. Yapılan eğitim ve testlerde bir yıl gibi uzun zaman dilimine ait veriler kullanıldığı gibi üç günlük kısa zaman dilimine ait veriler de kullanılmıştır. Ayrıca hibrit yöntemin dışında karşılaştırma amaçlı olarak ESA, UKSH ve Geçitli Tekrarlayan Ünite (GTÜ) yöntemleri tek tek uygulanıp sonuçlar grafik halinde gösterilmiştir. Geliştirilen hibrit ESA-UKSH öğrenme yapısı ile yapılan üretim tahmininde ortalama kare hata (Mean Square Error - MSE) 1,17 'ye kadar düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi üretim tahmini; Makine öğrenmesi; Evrişimsel Sinir Ağları; Uzun Kısa Süreli Hafıza

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Rüzgâr türbinleri ticari olarak işletilerek rüzgârın 5-6 metre/saniye (18-21,6 km/saat) hıza ulaştığında devreye giren düzenekler olup rüzgâr enerji santralleri (RES) olarak kullanılırlar. Bu düzenekler rüzgârın kinetik enerjisini sırasıyla hareket ve elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Bu türbinler 25-30 metre/saniye (90 – 108 km/saat) ve üzeri rüzgâr hızında kendilerini korumaya alarak üretimi durdururlar. Ülkemizde enerjide dışa bağımlılığının ve fosil yakıt kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması amacıyla sağlanan yatırım teşvikleri ve destekler sayesinde RES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar giderek artmaktadır. Bununla birlikte bu santrallerin üretim tahmini ile ilgili bilişim teknoloji çözümleri geliştirilmektedir (Wu ve Hong, 2007). Türkiye’de mevcut rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW’tır (“İstatistik Raporu Ocak 2019”, 2019). Bu potansiyele sahip alan ise toplam yüz ölçümünün %1,3’üne denk gelmektedir. Ülkemizde 2018 yılında rüzgâr enerjisinden 19.752.159 MWh elektrik üretilmiştir. 2018 yılında işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü ise 7.005 MW’tır. Türkiye’de yer seviyesinden 50

metre yükseklikte ve rüzgâr hızı 7,5 m/s ve üzeri olan alanlarda her kilometrekareye 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabilmektedir (“İstatistik Raporu Ocak 2019”, 2019). Türkiye’de aktif rüzgâr enerjisi santrallerinde kullanılan rüzgâr türbinleri çeşitli ülkelerde geliştirilmiş farklı markalara ait türbinlerdir (Tablo 1). Bu çalışmada RES’lerde türbin bazında rüzgâr hızı tahmini ve buna bağlı üretim tahmini için çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları üzerinde çalışılmış ve çıktılarının performansları değerlendirilmiştir. Burada amaç dengesizlik maliyetlerini azaltma ve üretim tahmininde yapılacak iyileştirme ile santralin kâr maksimizasyonunu sağlayabilmektir.

Günümüzde genel olarak elektrik santralleri için üretim tahmin hizmeti sağlayan yerli ve yabancı çeşitli çözümler bulunmaktadır. Ancak bu çözümlerin hemen hiçbiri gerçek zamanlı ve türbin bazlı bir rüzgâr hızı tahmini üzerine çalışmamaktadır. Bu çözümler tarafından sağlanan tahminlerin, tüm santralin genel karakteristiği ile en yakın meteoroloji ölçüm istasyonundan (genellikle en yakın havaalanı)

Tablo 1. 1 Ocak 2019 itibariyle Türkiye’deki rüzgâr türbini adetleri ve toplam güçleri (“İstatistik Raporu Ocak 2019”, 2019)

Marka	Menşei	Türbin Adedi	Toplam Güç (MW)	Pay %
Nordex	Danimarka	707	1845,5	26,36
Vestas	Danimarka	580	1537,5	21,96
Enercon	Almanya	774	1295,3	18,50
GE	ABD	442	1029,95	14,71
Siemens	Almanya/İspanya	358	903,76	12,91
Gamesa				
Sinovel	Çin	96	108	1,54
Suzlon	Hindistan	52	106,25	1,52
Acciona	İspanya	20	58	0,83
Senvion	Almanya	1	3	0,04
Unison	Güney Kore	2	1,25	0,02
Northel	Türkiye	7	0,82	0,01
Ayetek	Türkiye	1	0,5	0,01
Shriram	Hindistan	1	0,25	0,00
Milres	Türkiye	0	0	-
Leitwind	İtalya	0	0	-
Diğer	Bilinmeyen	18	50	0,71
Toplam		3088	7000,08	100,00

elde edilen meteorolojik tahminlerin korelasyonu oluşturulan; günlük bazda, minimum saatlik çözünürlükte ve doğruluk oranları oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında çalışmada önerilen türbin bazında senelik ve günlük gibi uzun ve kısa dönemli saatlik veya 10 dakikalık çözünürlükte rüzgâr hızı ve üretim tahmini, üretim alanında oldukça yeni bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

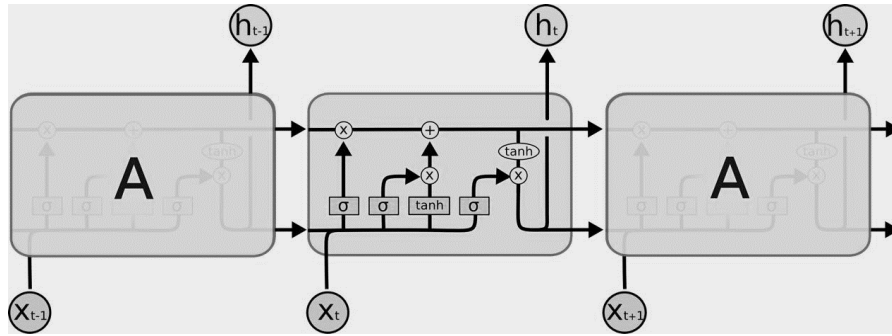
Geçmiş literatür çalışmalarına bakıldığında, Çelik (2003); Weibull, Rayleigh ve Lognormal gibi dağılım yöntemlerini kullanarak rüzgâr hızını modelleyerek enerji üretim tahmini yapmıştır. Yapılan çalışmada ortalama kare hata 2,79 olarak hesaplanmıştır. Landberg ve diğerleri (2002) ve Giebel ve diğerleri (2001) rüzgâr gücü ile elektrik üretim tahmini çalışmalarında Zephyr adı verilen dinamik modellere dayalı istatistiksel bir sistem kullanmışlardır. Sanchez (2006) ise çalışmada farklı tahmin modellerinin adaptif doğrusal (lineer) kombinasyonunu kullanmıştır. Bunun için Kalman filtresi ve yinelenen en küçük kareler (recursive least squares - RLS) yöntemlerinden faydalanmıştır. Akdağ ve Dinler (2009) aynı amaç doğrultusunda kendi

geliştirdikleri güç yoğunluk (power density) metodunu kullanmışlardır. Bu çalışma kapsamında 01.05.2017 – 31.05.2018 tarih aralığında bir rüzgâr türbini için elde edilen rüzgâr hızı veri seti kullanılarak tahmin yapılmıştır. Tahmin için farklı makine ve derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Ayrıca son aşamada farklı çözünürlükteki veri setleri ile önerilen ESA-UKSH hibrit algoritmasının tahmin başarısını incelenmiştir.

Materyal ve yöntem

Uzun Kısa Süreli Hafıza Metodu (UKSH)

Uzun Kısa Süreli Hafıza (Long Short-Term Memory) algoritması uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilen özel bir Yinelenen Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks – RNN) türüdür (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). UKSH sinir ağındaki geri yayılımda farklı katmanlardan gelen hata değerini korur. Böylelikle belli sayıda adımdan sonra sabit bir hata değeri sağlayarak yinelenen ağların öğrenme adımlarının devamını sağlar. Bu işlemi giriş ve çıkış arasına yeni bir kanal açarak yapmaktadır (Şekil 1).



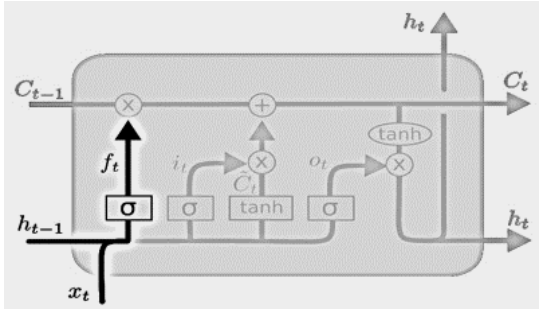
Şekil – 1: UKSH algoritması genel yapısı (Olah, 2015)

UKSH yapısında tek bir ağ katmanı yerine, birbirlerine bağlı 4 katman bulunmaktadır. Dışarıdan depolanabilen, hücreye yazılabilen ve okunabilen bilgiyi alan bir yapıdır. UKSH’de kullanılan kapılar yardımıyla hücrenin hangi bilgiyi depolayacağına, okuma yazma ve silme gibi işlemlerin gerçekleşme zamanına karar verilir. Bu kapılar aktivasyon fonksiyonunun

gerçekleştiği bir ağ yapısını barındırır. Nöron yapısına benzer şekilde gelen giriş verisini belirlenen bir ağırlığa göre geçirme veya durdurma özelliği gösterirler (Chung vd., 2014). Bu ağırlıklar yinelenen ağın öğrenme aşaması esnasında hesaplanmaktadır. Bu ağ yapısı yardımıyla hücre, gelen veriyi alma, iletme veya silme işlemlerini öğrenir. UKSH algoritmasının

ilk adımı hangi giriş verisinin hücreden geçirileceğine karar vermektir. Bu karar, “kayıyı unut katmanı” (forget the gate layer) olarak adlandırılan bir sigmoid katmanı tarafından yapılır. Sigmoid (σ) katmanı, her bir bileşenden ne kadarının geçmesi gerektiğini tanımlayan 0 ile 1 arasında rakamlar verir. x_t ve h_{t-1} değerlerine bakılarak C_{t-1} hücre durumu her sayı için 0 ile 1 arasında bir çıkış değeri verir (Denklem 1). 0 değeri “bunu tamamen tut (completely keep this)” anlamına gelirken, 1 değeri “bundan tamamen kurtul (completely get rid of this)” anlamına gelir (Şekil 2).

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$



Şekil 2. UKSH sigmoid katmanı (Olah, 2015)

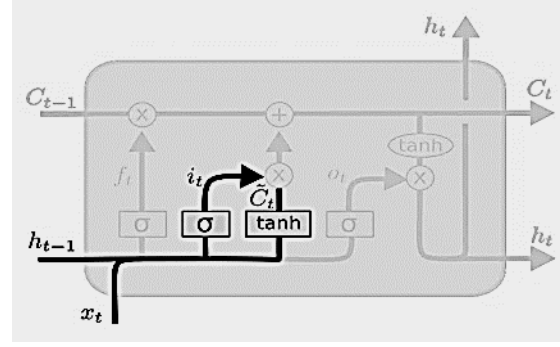
Hücre durumuna hangi yeni bilginin depolanacağına bir sonraki adımda karar verilir. Bu adım iki aşamadan oluşur. İlk aşamada, giriş katmanı olarak adlandırılan bir sigmoid katmanı hangi değerlerin güncelleneceğine karar verir. Sonraki, bir tanh katmanı hücreye eklenecek \tilde{C}_t yeni aday değerler vektörünü oluşturur (Şekil 3). Bir sonraki adımda, hücre durumunu güncellemek amacıyla için bu ikisi birleştirilir (Denklem 2,3).

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

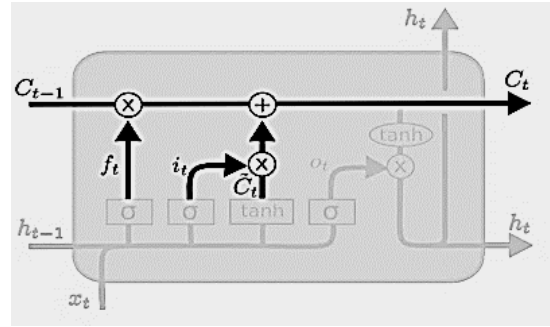
$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

Daha sonra Denklem 4’te gösterildiği gibi, bir önceki C_{t-1} durumu yeni C_t hücre durumuna güncellenir (Şekil 4).

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$



Şekil 3. Sigmoid katmanı ile tanh katmanı birleşimi (Olah, 2015)

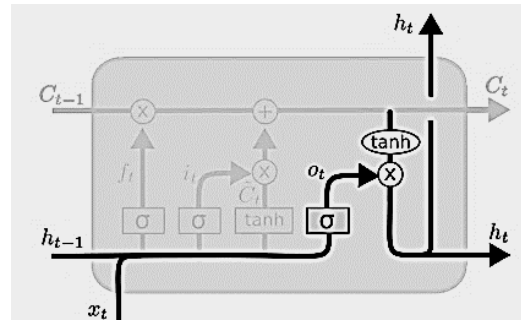


Şekil 4. UKSH yeni hücre durumu (Olah, 2015)

Son aşamada; hücre durumunun hangi kısımlarının çıktı olacağına karar veren bir sigmoid katmanı çalıştırılır (Denklem 5). Hücre durumu tanh katmanı vasıtasıyla sigmoid kapı çıktısıyla çarpılır (Denklem 6). Böylece sadece karar verilen kısımlar çıktı olarak elde edilir (Şekil 5) (Chung vd., 2014).

$$o_t = \sigma(W_o [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$



Şekil 5. UKSH çıkışı (Olah, 2015)

Evrişimli Sinir Ağları (ESA) (Convolutional Neural Network-CNN)

Evrişimli Sinir Ağları örüntü tanıma, sınıflandırma, veri kestirimi gibi birçok alanda etkin şekilde kullanılan bir yapay sinir ağıdır. ESA algoritması bir veri veya görüntüyü tamamını ya da kendine ait özneliklerini kullanarak çeşitli katmanlarda işler (Şekil 8).

a) Evrişimli katman (Convolutional layer)

Evrişimli Katman özellikleri saptamak için kullanılır ve ana yapı katmanı olma özelliği taşır. Verilen girişin özelliklerini algılayarak düşük ve yüksek frekans özelliklerini belirlemek için kenar belirleme gibi bazı filtreler kullanılır (Kaynar vd., 2009). Giriş verisinin sol üst köşesinden başlayarak tümünde gezdirilen filtre matrisi ile karşılıklı veri değerleri birbirleriyle çarpılır, çıkan sonuçlar toplanır ve çıktı matrisine depolanır. Ardından, bu filtre sağa 1 piksel kaydırılarak işlemler tekrarlanır. Bu çalışmada 5x5 boyutlu filtre matrisinden faydalanılmıştır.

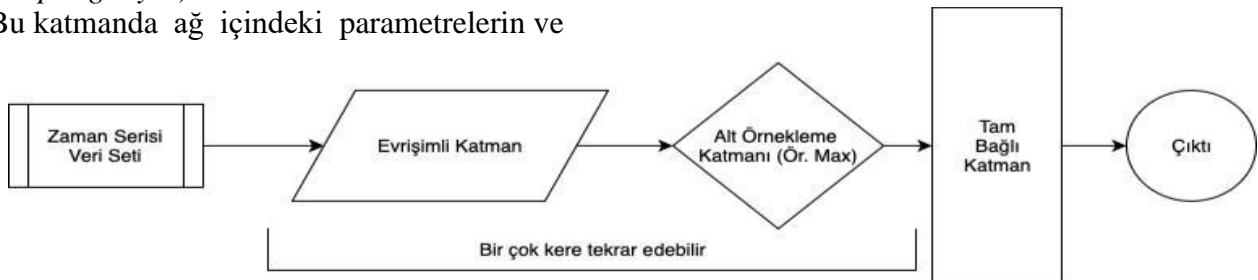
b) Doğrusal olmayan katman (Non-Linear layer)

Sisteme doğrusal olmayan fonksiyonların tanıtılmasıdır. Bu çalışmada evrişimli (convolutional) katmandan sonra doğrusal olmayan katman kullanılmıştır. UKSH yapısında kullanılan ve doğrusal olmayan sigmoid ve tanh gibi fonksiyonlar yerine sinir ağı eğitiminin hızı konusunda en iyi sonucu veren Denklem 7 kullanılmıştır (Wilamowski ve Yu, 2010).

$$f(x) = \max(0, x) \quad (7)$$

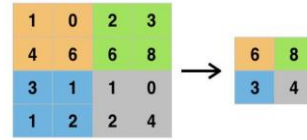
c) Alt örnekleme katmanı (Pooling / Down sampling layer)

Bu katmanda ağ içindeki parametrelerin ve



Şekil 8. Zaman serisi için uygulanabilir ESA şeması

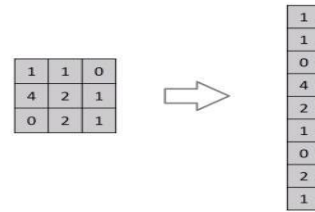
hesaplama sayılarının azalması için uygunluk kontrol edilir. Bu sayede ağıdaki uyumsuzluk kontrol edilmiş olur (Somon vd., 2010). Filtre, belirlenen komşuluktaki en büyük sayıyı alır. Böylece, sinir ağının doğru karar vermesi için yeterli bilgiyi içeren daha küçük çıktılar kullanılmış olur (Şekil 6).



Şekil 6. Alt örnekleme katmanı ile basitleştirilmiş bir matris örneği

c) Düzleştirme katmanı (Flattening layer)

Düzleştirme katmanı, gerekli veriyi son katman olan tam bağlı katman girişi olacak şekilde matrisi tek boyutlu bir diziyeye çevirerek işlevini tamamlar (Şekil 7).



Şekil 7. Alt örnekleme katmanı ile basitleştirilmiş bir matris örneği

d) Tam bağlı katman

Sınıflama için kullanılan tam bağlı katmandaki her bir nöron başka bir katmandaki her bir nörona bağlıdır. Çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (multi-layer perceptron neural network - MLP) ile aynı prensipte çalışır (Wilamowski ve Yu, 2010).

Geçitli Tekrarlayan Ünite (GTÜ)

GTÜ (Gated Recurrent Unit- GRU), standart tekrarlayan yapay sinir ağı ile gelen unutmama (yok olma) problemini çözmeyi amaçlamaktadır. UKSH ve GTÜ, her ikisi de benzer şekilde tasarlandığından ve bazı durumlarda eşit olarak mükemmel sonuçlar ürettiği için UKSH' nin bir varyasyonu olarak da düşünülebilir (Pinson, 2006).

Standart bir yinelenen sinir ağının meyil problemini çözmek için GTÜ, “güncelleme ve sıfırlama” kapısını kullanır (Şekil 9). Temel olarak, bunlar çıktıya hangi bilgilerin iletilmesi gerektiğine karar veren iki vektördür. Onlar hakkında özel olan şey, bilginin uzun zaman önce, zaman içinde yıkmadan veya tahminle

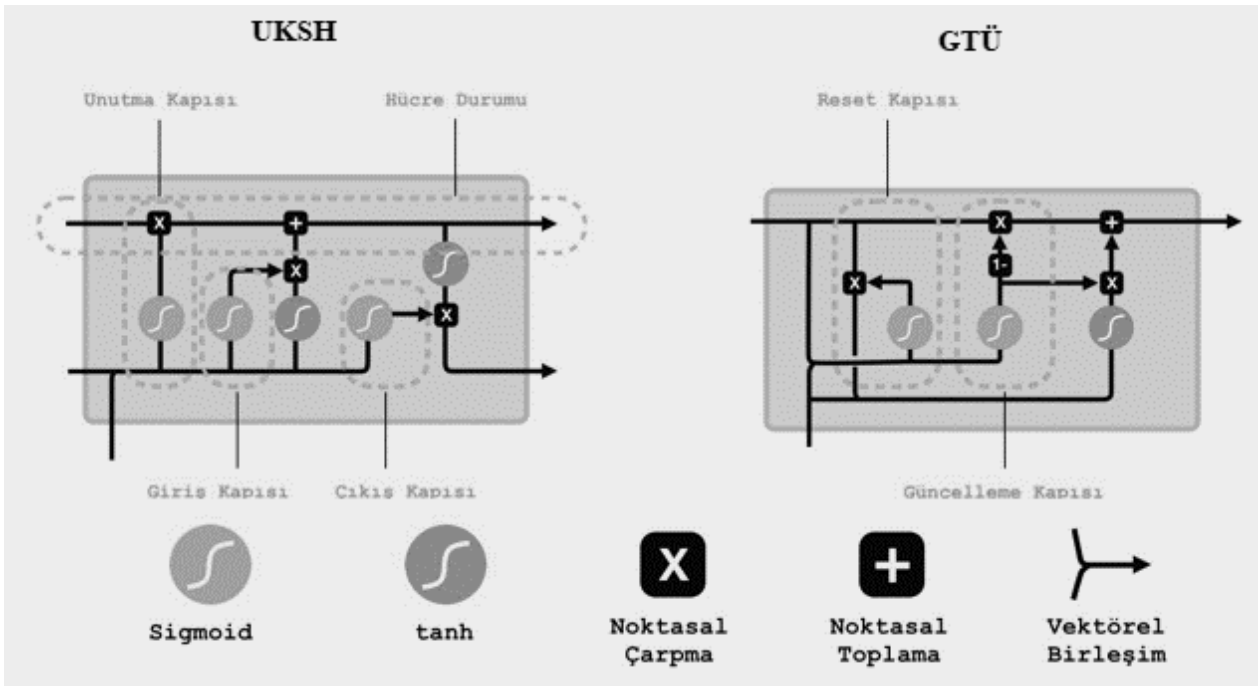
ilgisi olmayan bilgileri uzak tutmak için eğitilmesidir.

a) Güncelleme kapısı (Update gate)

Güncelleme kapısı, bir UKSH' nin unutma kapısı (forget gate) ve giriş kapısına (input gate) benzer davranır. Hangi bilgilerin atılacağına ve hangi yeni bilgilerin ekleneceğine karar verir.

b) Sıfırlama kapısı (Reset gate)

Sıfırlama kapısı, ne kadar geçmiş bilginin unutulacağına karar vermek için kullanılan bir kapıdır. GTÜ yapısı UKSH' ye göre daha az kapı içermektedir (Şekil 9). Bu nedenle, algoritmayı eğitmek UKSH' ye göre daha hızlıdır. Bu çalışmada karşılaştırma amaçlı GTÜ algoritmaları da test edilmiştir.

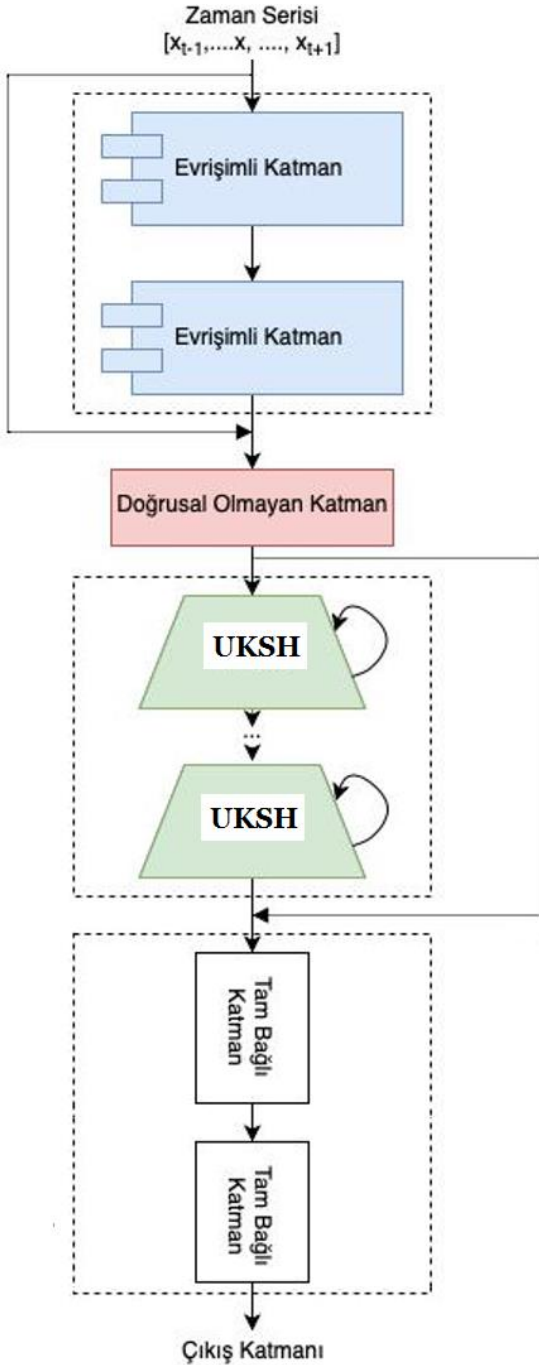


Şekil 9. UKSH ve GTÜ farkları

Önerilen yöntem

Bu çalışmada Evrişimsel Sinir Ağları ve Uzun Kısa Süreli Hafıza algoritmalarının hibrit kullanılması önerilmiştir. Bu yöntemde ESA katmanlarına UKSH katmanı eklenerek ESA-UKSH hibrit modeli kurgulanmış ve elektrik

üretim tahmini için deneysel sonuçlar bulunmuştur. Modelde doğrusal olmayan katman da kullanılmıştır. Önerilen yapının katmanları ve akışı Şekil 10'da gösterilmiştir.

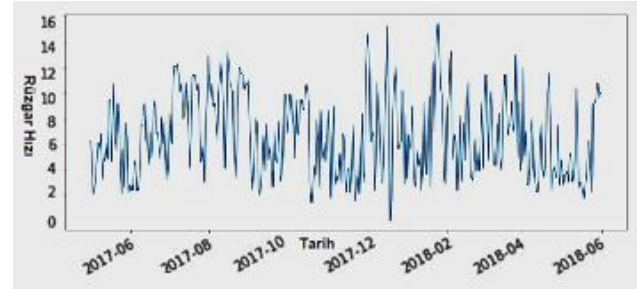


Şekil 10. ESA-UKSH hibrit yöntemi akış şeması

Veri Seti ve Başarımlar

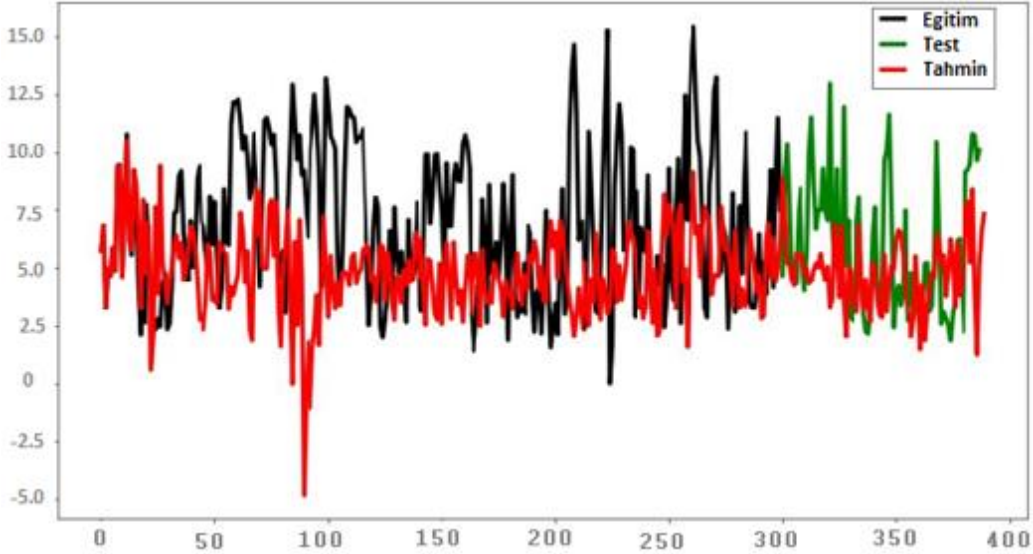
Çalışma kapsamında 01.05.2017 – 31.05.2018 tarih aralığında bir rüzgâr türbini için elde edilen rüzgâr hızı veri seti kullanılarak tahmin yapılmıştır. Öncelikle İzmir Urla bölgesinde bulunan rüzgâr türbininden sağlanan ve bir yılı kapsayacak şekilde her gün saatlik çözünürlükte alınan 8640 adet veri ile çalışılmıştır. Sayıların

büyük olmasından kaynaklanan normalizasyon gereksinimi için değerler (-1,1) arasında ölçeklendirilmiştir. Şekil 11 çalışmada kullanılan veri setini göstermektedir.

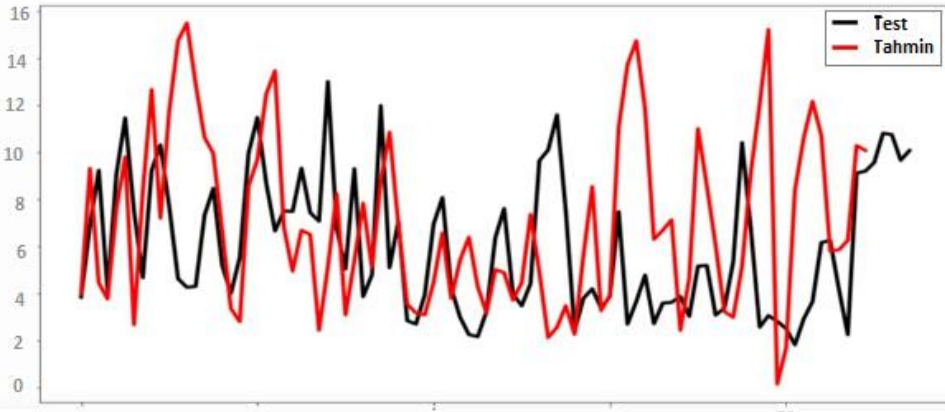


Şekil 11. Günlük çözünürlükte rüzgâr türbini verisi

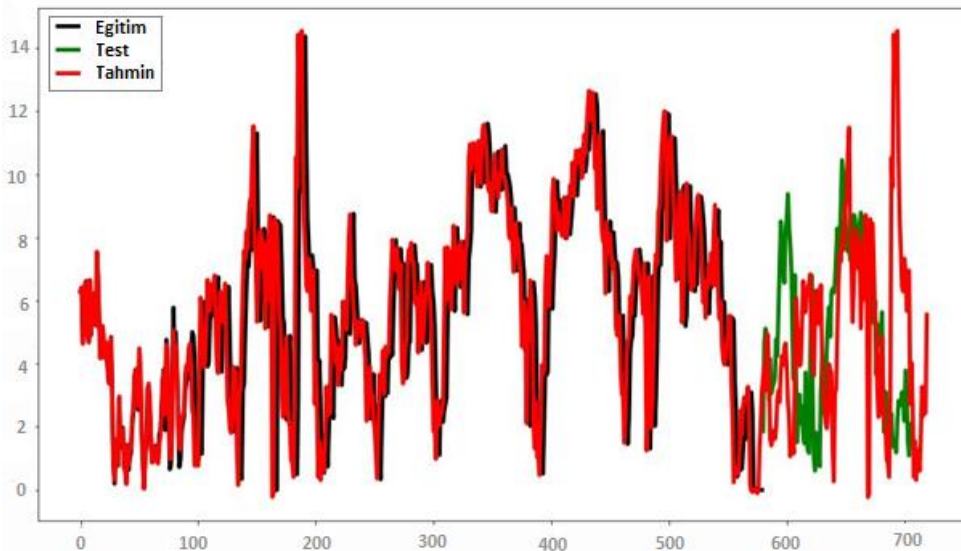
1 yıllık ve günlük çözünürlükte veri seti ESA algoritması ile kullanıldığında MSE 12,37 olarak hesaplanmıştır. 300 adet veri algoritmayı eğitmek için kalanı ise test için kullanılmıştır. Eğitim, test ve tahmin edilen sonuç grafiği Şekil 12’de verilmiştir. Aynı veri seti için 3 gizli katmanlı bir UKSH modeli kurulmuştur. Kullanılan modelde 100 iterasyon 5 kez tekrar ettirilmiştir. Bu adımdan sonra yapılan test işleminde MSE değeri 8,4 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan test verisi ve tahmin edilen veri Şekil 13’teki grafikte gösterilmektedir. Önerilen ESA-UKSH modelinde ESA katmanlarına UKSH katmanı eklenerek yapılan tahmin sonunda ise MSE 2,009 olarak hesaplanmıştır (Şekil 14). Ayrıca 3 günlük, 5 günlük ve 1 aylık olarak alınan ve 10 dakika çözünürlükteki veriler de kullanılmıştır. 3 günlük ve 10 dakika çözünürlükte toplam 432 adet veri bulunmaktadır. Bu veri seti bir saatlik ortalamaya çevrildiğinde, veri seti 72 adet olurken bunların 48 adedi algoritmayı eğitmek, kalanı ise test için kullanılmıştır. UKSH algoritması kullanılarak yapılan kestirimde MSE değeri 2,06 olarak hesaplanmıştır. Sonuç grafiği Şekil 15’tedir. 5 günlük ve 10 dakika çözünürlükte ise toplam 720 adet veri bulunmaktadır. Bu veri seti bir saatlik ortalamaya çevrildiğinde, veri seti 120 adet olurken bunların 80 adedi algoritmayı eğitmek, kalanı ise test için kullanılmıştır. UKSH algoritması kullanılarak yapılan kestirimde hata değeri 2,89 olarak hesaplanmıştır (Şekil 16).



Şekil 12. ESA ile 1 yıllık, günlük çözünürlükte üretim tahmin grafiği



Şekil 13. UKSH ile 1 yıllık, günlük çözünürlükte üretim tahmin grafiği

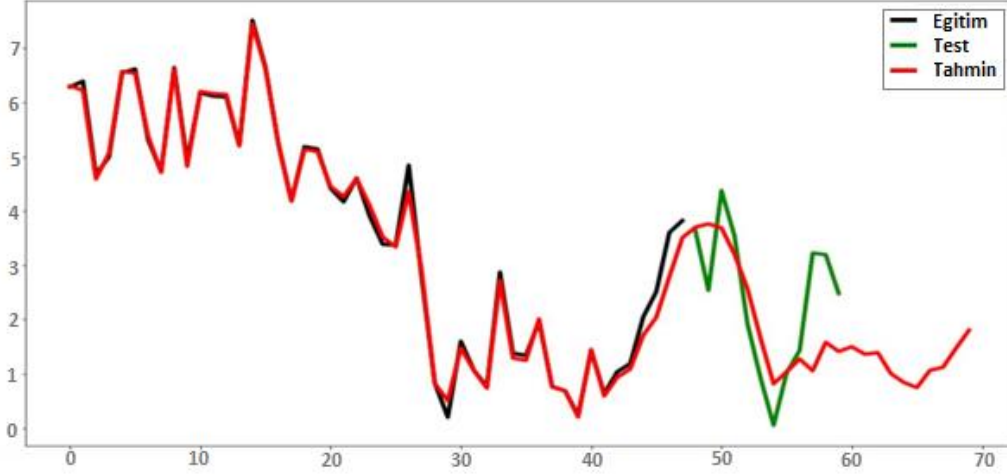


Şekil 14. ESA – UKSH ile 1 yıllık, günlük çözünürlükte üretim tahmin grafiği

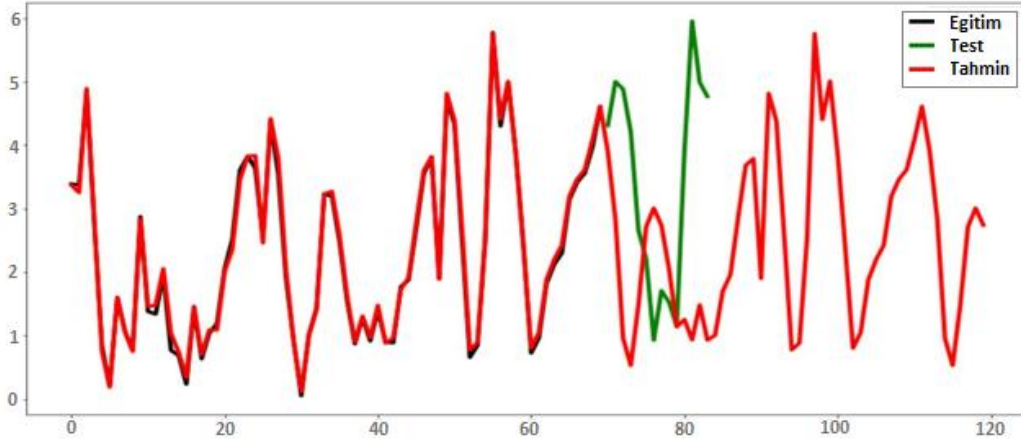
1 aylık 10 dakika çözünürlükte elde edilen veri toplam 4320 adet veri bulunmaktadır. Bu veri seti bir saatlik ortalamaya çevrildiğinde, veri seti 720 adet olurken bunların 480 adedi

algoritmayı eğitmek, kalanı ise test için kullanılmıştır. ESA algoritması kullanılarak yapılan kestirimde MSE değeri 2,2 olarak hesaplanmıştır. Sonuç grafiği Şekil 17’de verilmiştir. Önerilen çalışmada ayrıca 1 yıllık saatlik çözünürlükte geniş bir veri seti de kullanılmıştır. Bu veri seti için bahsedilen algoritmaların yanında karşılaştırma amaçlı

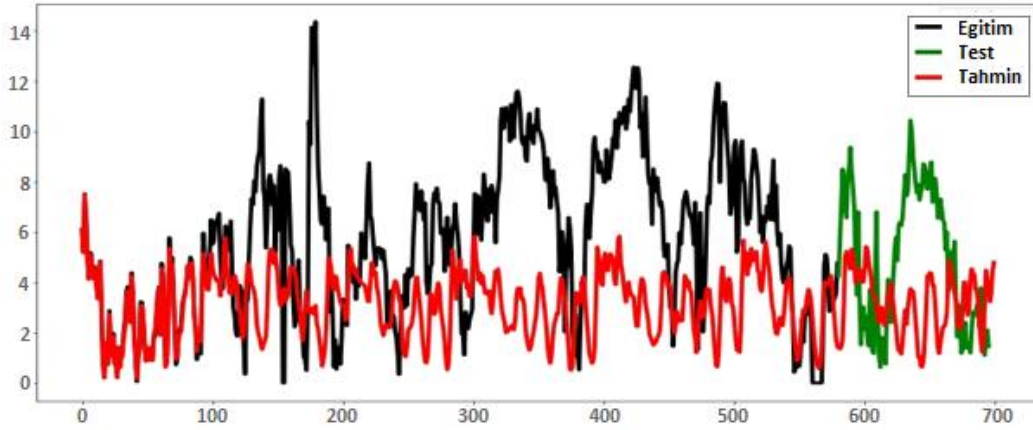
GTÜ, Sarimax ve Prophet yöntemleri de test edilmiştir. Şekil 18’de de görüldüğü gibi MSE değeri Sarimax, Prophet, GTÜ, ESA, UKSH VE ESA-UKSH yöntemleri için sırasıyla 11.97, 11.52, 2.24, 1.89, 1.21, 1.17 olarak hesaplanmıştır.



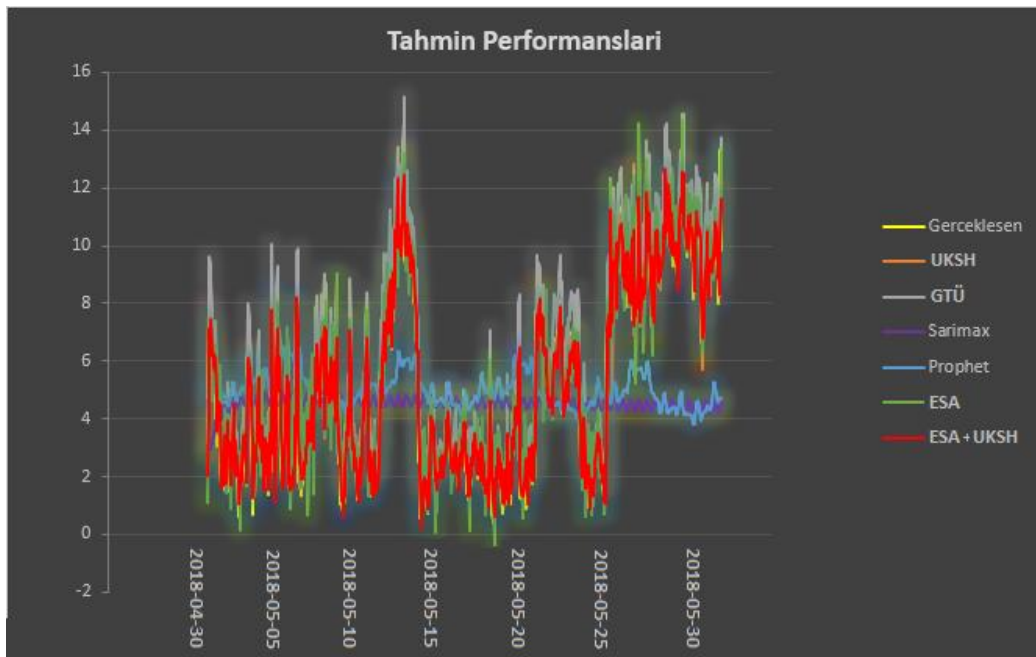
Şekil 15. UKSH ile 3 günlük, 10 dakika çözünürlükte üretim tahmin grafiği



Şekil 16. UKSH ile 5 günlük, 10 dakika çözünürlükte üretim tahmin grafiği



Şekil 17. ESA ile 1 aylık, 10 dakika çözünürlükte üretim tahmin grafiği



Şekil 18. Farklı yöntemler ile 1 yıllık, saatlik çözünürlükte üretim tahmin grafiği

Sonuç

Rüzgâr türbinlerine yapılan yatırımların artış miktarıyla doğru orantılı olarak toplam üretimdeki payları da artmaktadır. Bu durum özellikle ilerleyen yıllarda üretim tahmini konusunda yatırımcı ve işletmecilerin daha fazla kaynak ayırmalarını gerektirecektir. Ekipmanların yaşlanmasına bağlı olarak bakım planlaması açısından da üretim tahmini ve piyasa entegrasyonları için çeşitli bilişim sistemlerine yatırım yapmak işletmeciler için kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada akademik çeşitli alanlar için uygulaması mevcut olan çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme

algoritmalarının rüzgâr enerjisinin tahmininde kullanım olanakları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu algoritmaların her birinin çalışma karakteristikleri incelenmiş ayrıca farklı parametre değişkenleri ile denemeler yapılarak bunların sonuçlara etkileri izlenmiştir. Tüm algoritmalar için geçerli olan bir sonuç olarak, 10 dakika gibi yüksek çözünürlükteki veri seti ile çalışılmasının ve kısa vadeli gelecek tahmini yapmanın tüm algoritmaların başarımını artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak veri çözünürlüğünün yüksekliği ve gelecek tahmini için öngörülen

vadenin uzun tutulduğu durumda sistem kaynağı ihtiyacı ve çıktı sürelerinin artışının uygulanan algoritmalar için geçerli olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında ESA, UKSH, GTÜ, Prophet, Sarimax ve önerilen ESA-UKSH algoritmaları arasında yapılan kestirim (tahmin) hatası kriteri göz önünde bulundurulduğunda ESA – UKSH hibrit yönteminin daha başarılı sonuçlar vermesi bu yöntemin yatırımcı ve işletmeciler tarafından sahada (yerinde) kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Yaşanan teknolojik gelişmeler bu tür çalışmaların gerçek zamanlı veri ile sahada yapılabilmesi için olanaklar sağlamaktadır. Bu çalışma ile ilgili gelecek çalışmalarda özellikle RES makine ekipmanlarının yaşlanmasına bağlı olarak artan bakım maliyetlerinin azaltılması hedeflenebilir. Bunun için tanılayıcı, önleyici, kestirimci bakım gibi analiz ve tahmin yöntemleri oldukça popüler bir konu olup bu konuda çok çeşitli sektörler için global çapta gerek akademik gerekse endüstriyel birçok çalışma yapılmakta veya yakın gelecekte yapılması hedeflenmektedir. Rüzgâr enerjisi türbinlerinde kullanılan teknoloji ve ekipmanların yüksek fiyatları göz önünde bulundurulduğunda bu konuda yapılacak çalışmaların sağlayacağı katma değer oldukça anlamlı olacaktır.

Kaynaklar

- Akdag, S. A., Dinler, A., (2009), A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, *Energy Conversion and Management*, **50**, 1761–1766.
- Celik, A. N., (2003), Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **91**, 693–707.
- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., Bengio, Y., (2014). Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling, *Proceedings*, In *NIPS 2014 Workshop on Deep Learning*, December 2014.
- Giebel, G., Landberg, L., Nielsen, T. S., Madsen, H. (2001). The Zephyr project. The next generation prediction system. *Proceedings, EWEC 2001*, 777– 780.
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J., (1997), Long Short-Term Memory, *Neural Computation*, **9**, 8, 1735-1780.
- Kaynar, O., Taştan, S., Demirkoparan, F., (2009), Yapay Sinir Ağları İle Doğalgaz Tüketim Tahmini, *10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, 27-29 Mayıs 2009, Erzurum.
- Landberg, L., Giebel, G., Madsen, H., Nielsen, T. S., Jørgensen, J. U., Laursen, L., (2002). Wind farm production prediction-the Zephyr model. *Technical report*. Roskilde, Denmark.
- Olah, C., (2015). Understanding LSTM Networks. <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>, Erişim tarihi Mart 11, 2019.
- Pinson P., (2006), Estimation of the Uncertainty in Wind Power Forecasting, *Doktora Tezi*, Mines Paris.
- Sanchez, I., (2006), Short-term prediction of wind energy production, *International Journal of Forecasting*, **22**, 43– 56.
- Soman, S., Zareipour, H., Malik, O., Mandal, P., (2010), A Review of Wind Power and Wind Speed Forecasting Methods With Different Time Horizons, *North American Power Symposium 2010*, USA.
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. “İstatistik Raporu Ocak 2019”. https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_ocak_2019.pdf. Erişim tarihi Nisan 11, 2019.
- Wilamowski B. M., Yu, H., (2010), Improved computation for Levenberg-Marquardt Training, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **21**, 6, 930-937.
- Wu, Y., ve Hong, J., (2007). A literature review of wind forecasting technology in the world, *Proceedings, IEEE Lausanne POWERTECH*, Switzerland.

Estimation of wind power generation with Long Short-Term Memory and Convolutional Neural Networks

Wind turbines provide electricity with the help of wind speed. The direction and speed of the wind have geographical and temporal differences due to inhomogeneous heating. The wind speed increases as the altitude increases and the wind power increases depending on the speed. Wind power generation applications using wind turbines are increasing day by day along high initial investment costs. The aim of this study is to overcome the disadvantages such as the variability of the wind power by estimating the electrical energy generation with the help of a system based on machine learning. In addition, it is aimed to reduce the unbalanced costs and improve the prediction of energy generation to maximize the profit. In our study, a method called CNN-LSTM which hybrids Convolutional Neural Networks (CNN) and Long Short Term Memory (LSTM) methods is proposed. The data utilized is actual data obtained from the wind turbine resides in Izmir Urla location. This data set consists of wind speed of 1-year with daily and also ten minute resolution. In training and test steps, the data of the long period such as 1-year is used as well as the data of the short period such as 3-day. In addition to the proposed hybrid method, CNN, LSTM, Prophet, Sarimax and Gated Recurrent Unit (GRU) methods are applied respectively and the results are demonstrated graphically. The mean square error (MSE) is reduced to 1.17 for the estimation of energy generation using the developed hybrid CNN-LSTM learning structure.

The Long Short-Term Memory algorithm is a special type of Recurrent Neural Networks (RNN) that can learn long-term dependencies. LSTM retains the error value of different layers in back propagation for a neural network. Thus, it maintains the learning by providing a constant error value after number of iterations. This is done by opening a new channel between the input and output. Convolutional Neural Networks are artificial neural networks that are used effectively in many areas such as pattern recognition, classification and data estimation. The CNN algorithm processes the data or image in various layers using the data itself or its own attributes. Convolution layer which is the main structure layer is used to determine the data properties. Filters like edge detection are utilized to detect low and high frequency characteristics of an

input. In this study a nonlinear layer is used after a convolutional layer. In the proposed method, CNN-LSTM hybrid model is constructed by adding LSTM layer to CNN layers and the experimental results are calculated for electricity generation estimation. Within the scope of this study, the wind speed data set obtained from a wind turbine between the dates 01.05.2017 and 31.05.2018 is utilized for the estimation using different machine learning algorithms as well as the proposed CNN-LSTM hybrid algorithm. As the data set with one year and daily resolution is used with ESA algorithm, MSE is calculated as 12.37. For training 300 data are used and the rest are used for testing. A LSTM model with 3 hidden layers is established for the same data set. 100 iterations are repeated 5 times. As a result the MSE value is calculated as 8.4. In the proposed CNN-LSTM model, for the estimation made by adding the LSTM layer to CNN layers, the MSE is calculated as 2.009.

Furthermore, 3-day, 5-day and 1-month data sets with ten minute resolution are used. There are 432 data in 3-day and ten minute resolution. When this data set is converted to one-hour average, the data number decreases to 72 and 48 of them are used to train the algorithm and the rest are used for testing. In the estimation made by using LSTM algorithm, MSE value is calculated as 2.06. The data number in 5-day and ten minute resolution is 720. When this data set is converted to one-hour average, the data number decreases to 120, 80 of them are used for training and the rest are used for testing. The MSE is 2.89 for LSTM algorithm. There are totally 4320 data in 1-month data set with ten minute resolution. This set is converted to one-hour average and the data number decreases to 720. 480 of them are used to training and the rest are used for testing. The MSE value is 2.2 in energy estimation using CNN algorithm. In the proposed study, a large data set for 1-year with one hour resolution is also used. Additionally GRU, Sarimax and Prophet methods are also tested for comparison. MSE value is calculated as 11.97, 11.52, 2.24, 1.89, 1.21, 1.17 for Sarimax, Prophet, GRU, CNN, LSTM and CNN-LSTM methods respectively. According to the experimental results the proposed CNN-LSTM method can be used by the investors and operators in the field of electricity generation estimation.

Keywords: Estimation of wind power generation; Machine learning; Convolutional Neural Networks; Long Short-Term Memory



Evrişimsel sinir ağları kullanılarak normal ve göğüs kanseri hücreleri içeren genomların sınıflandırılması

Suat TORAMAN*

Fırat Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Elazığ
storaman@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-7568-4131, Tel: (424) 247 00 00 (3152)

Bihter DAŞ

Fırat Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği, Elazığ
bihterdas@gmail.com.tr ORCID: 0000-0002-2498-3297

Geliş: 26.08.2019, Revizyon: 01.10.2019, Kabul Tarihi: 29.11.2019

Öz

Geniş veri setlerinden anlamlı ve doğru bilgilerin çıkarılması biyoinformatik çalışmalarında önemli bir unsurdur. Karşılaşılan en önemli zorluklardan biri, kanser ile ilişkili olan genomik işaretçilerin tespitidir. Bu problemin çözümü için kullanılan genom dizilimlerinin sayısallaştırılması ve dizilimlerden öznelik çıkarımı, sorunun çözümünde oldukça etkilidir. DNA dizilimlerinin sayısallaştırılması için literatürde var olan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Öznelik çıkarımında da, önceki çalışmalarda, belirli istatistiksel parametreler hesaplanmakta ve bu parametreler üzerinden bir ayırım gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, hesaplanan parametreler uzmanın tecrübesine dayalı olarak seçilmektedir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımda ise, yeni bir haritalama yöntemi olan Entropi tabanlı sayısal haritalama ile DNA dizilimleri sayısal sinyallere dönüştürülmüş ve daha sonra sayısallaştırılan DNA dizilimlerinden Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) kullanılarak öznelik çıkarımı yapılmıştır. ESA modelleri kullanarak yapılan öznelik çıkarma işlemi sistem, veriden kendisi öznelik çıkarmaktadır. Daha sonra ESA modellerinden elde edilen öznelikler Destek Vektör Makinesi (DVM) ve k -En yakın komşu algoritması (k -NN) ile sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen her iki yaklaşım kullanılarak DNA dizilerinden göğüs kanseri ve sağlıklı gen dizilimi gruplarının sınıflandırması için yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem ile ulaşılan sınıflandırma doğruluğu %85.97'dir. Elde edilen sonuçlar, derin öğrenmenin genom analizinde genlerin sınıflandırılması, yeni genlerin bulunması gibi uygulamalarda etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler —DNA, Genom analizi, Kanser, Evrişimsel sinir ağları, Sınıflandırma

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Kanser, DNA'nın kimyasal ve yapısal değişimini içeren genetik ve epigenetik bir hastalık olarak tanımlanır. Bu hastalık tüm dünyanın karşı karşıya kaldığı en tehlikeli hastalıklardan biridir ve son zamanlarda kanser yüzünden ölüm oranları sürekli artmaktadır (Cheon vd., 2017). Bu nedenle bu hastalığın erken aşamada tespit edilmesi çok önemlidir. DNA'da meydana gelen mutasyonlar, belirli tür kanserlerin gelişme riskini önemli ölçüde arttırabilir. Protein ve DNA sekansları analiz edilerek, mevcut ve gelecekteki kanser olasılığı tahmin edilebilir. Biyoinformatik çalışmalarda karşılaşılan zorluklardan biri, kanserle ilişkili olduğu düşünülen genomik işaretçilerin tespit edilmesidir. Genomun kanser gelişimindeki rolünü tanımlayan erken dönem çalışmaları 19. yüzyılın sonlarına ve 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. David Von Hansemann ve Theodor Boveri, kanser hücrelerinin mikroskop altında bölünmesini inceleyip, tuhaf kromozomal sapmaların varlığını gözlemlemişlerdir (Meng vd., 2013), (Stratton vd., 2009). Bu bulgular, kanserin kromozomların yapısında neden olduğu değişikliklerle ilgili olduğu tespit edilmiştir. Kwong-Sak Leung ve diğ., karaciğer kanseri olan hastalar ile sağlıklı bireyleri karşılaştırarak karaciğer kanseri ile ilişkili olan Hepatit B virüsündeki (HBV) genomik işaretçilerin tespitine yönelik çalışmışlardır. Bu çalışmada 200'den fazla hastadan Genotip B ve C grubu HBV DNA sekansları toplanmıştır. Evrimsel algoritmaya dayanan kural öğrenme adlı algoritma ile anlamlı kurallar çıkarılmış ve doğrusal olmayan integral tarafından yeni bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin performansının karaciğer kanseri teşhisinde veri kümesi için %70'ten fazla doğruluğa ve %80 duyarlılığa sahip olduğu görülmüştür (Leung vd., 2011). Dayana binti Saiful Nurdin A ve arkadaşının yaptığı çalışmada, 11 ekzon DNA sekansı kullanılarak Yeni Nesil Dizilimi (YND) yöntemiyle göğüs kanseri tespiti için bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada BRCA1 geninden 11 ekzon DNA sekansı kullanılmıştır. Mutasyona uğramış 11 ekzon sekansı MATLAB ve SSEARCH35

yazılımları kullanılarak hizalanmıştır. Çalışmada YND ile 11 ekzon sekansının göğüs kanserinin tespitinde kullanılması sonucu %99.4 doğruluk elde edilmiştir (Bordoloi vd., 2018). Naeem ve ark yaptıkları çalışmada Genomik sinyal işleme tekniklerinden olan ayırık Fourier Dönüşümü, güç spektral yoğunluğu ve Welch'in ortalama periodogram yöntemi kullanılarak normal ve kanserli hücreler arasındaki farklılaşma için tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Algoritma NCBI gen bankasından elde edilen altı sağlıklı ve altı kanserli meme hücresi geninde test edilmiştir (Naeem vd., 2017).

Bu çalışmada ise göğüs kanseri DNA gen sekansları ve sağlıklı bireylere ait DNA gen sekansları derin öğrenme yöntemlerinden biri olan transfer öğrenme tekniği ile sınıflandırılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda sayısallaştırılan gen dizilimlerini makine öğrenme teknikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Yapılan literatür incelenmesinde Göğüs kanserinin derin öğrenme yöntemleri ile sınıflandırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Göğüs kanseri ve normal DNA gen sekansları yeni bir sayısal haritalama yöntemi olan Entropi tabanlı sayısallaştırma tekniği ile sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan gen dizilimleri spektrogram görüntüsüne dönüştürülmüştür. Böylece 2 boyutlu CNN mimarilerine giriş verisi olarak verilmiştir. Her bir spektrogram görüntüsünün VGG16 ve VGG19 modelleri ile öznetelik vektörleri çıkarılmıştır. Elde edilen bu veriler DVM ile sınıflandırılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Materyal ve metot bölümünde, veri kümesi, ESA modelleri, sınıflandırıcı ve performans değerlendirme ölçütlerinden bahsedilmiştir. Deneysel sonuçlar bölümünde önerilen yöntem ile ilgili elde edilen bulgular verilmiş ve tartışılmıştır. Sonuç bölümünde çalışmanın genel katkıları sunulmuştur.

Materyal ve metot

Veri kümesi

Deneysel çalışmada kullanılan veri kümesi NCBI veri tabanından elde edilmiştir (NCBI Gen

bankası, 2019). Uygulama için altı sağlıklı altı göğüs kanseri genine ait DNA sekansları kullanılmıştır. Gen bankasından alınan veriler Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kullanılan veri kümesi

İndeks	Erişim Numarası
<i>Sağlıklı Sekanslar</i>	
1	NM_001300741.2
2	NC_000001.11
3	NC_000002.12
4	NC_000003.12
5	NC_000010.11
6	NC_000011.10
<i>Göğüs Kanseri Sekanslar</i>	
1	NM_139163
2	NM_001127391
3	NM_001289993
4	NR_110620
5	NC_000023
6	CH471152

Sayısal haritalama yöntemi

DNA dizilimlerinin genomik sinyal işleme uygulamalarında kullanılabilmesi için sayısal sinyallere dönüştürülmesi gerekir. Bu çalışmada daha önceden birçok genomik çalışmada kullanılan yüksek performans elde edilmiş olan Entropi Tabanlı Sayısal Haritalama Tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte sekanslar, Fraksiyonel Shannon Entropisi kullanılarak DNA dizilimindeki kodonların dağılım frekansına göre sayısallaştırılmıştır (Daş, vd 2018), (Daş, 2018), (Karcı, 2016). Shannon, bir dizilimde meydana gelen kodon olasılıkları $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, olan ve bu olasılıklardan hangisinin önce meydana geldiği bilinmeyen bir olaylar kümesini ele almıştır. S belirsizlik ölçüsü olarak tanımlanırsa bu belirsizlik ölçüsü S_f olarak Denklem 1’de tanımlanmaktadır.

$$S_f = - \sum_i [(-p(x_i))^\alpha p(x_i) \log(p(x_i))] \quad (1)$$

Denklem 1’deki $p(x_i)$ değeri verilen DNA dizilimindeki her bir kodonun tekrarlama sıklığını temsil eder. Alfa (α) değeri ise genellikle deneme yanılma yoluyla verilmektedir. Ancak Entropi tabanlı teknikte alfa değeri DNA verisinden çıkarılmaktadır. Alfa

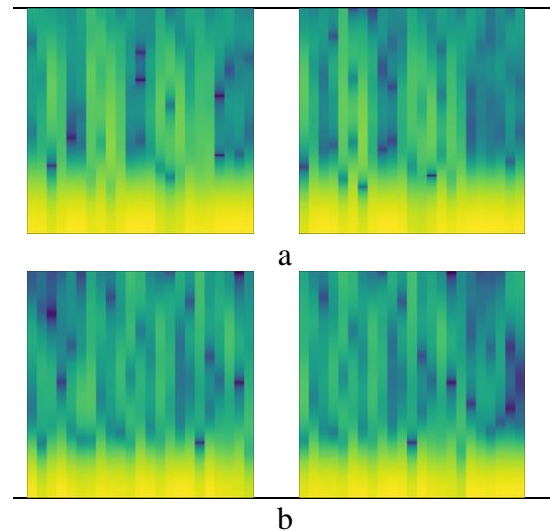
değeri için yeni tanımlanan formül Denklem 2’de gösterilmektedir. Alfa değeri, $p(x_i)$ değerinin logaritmasının 1’e bölünmesi olarak tanımlanmıştır.

$$\alpha = \frac{1}{\log(p(x_i))} \quad (2)$$

Çalışmada kullanılan DNA sekansları Denklem 1 ve Denklem 2’ye göre sayısallaştırılmıştır.

Spektrogram görüntülerin oluşturulması

Entropi tabanlı sayısal haritalama tekniği kullanılarak farklı uzunluklardaki altı göğüs kanseri gen sekansı art arda eklenmiştir. Toplam uzunluğu 6944 olan dizilim 5 birim kaydırmalı 100 birimlik bir kayan pencere yöntemi ile bölümlendiğinde 1368 adet sinyal alt kümesi elde edilmiştir. Spektrogram görüntüleri bu alt kümedeki sinyal bölümleri kullanılarak oluşturulmuştur. Spektrogram görüntüleri elde edilirken, pencere genişliği 12 ms olan Hamming pencereleme, çakışma değeri 8 ms ve Fourier dönüşümü sayısı 512 olarak belirlenmiştir. Spektrogram görüntüleri viridis renk haritası kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 1’de Entropi tabanlı sayısallaştırma yöntemi ile elde edilen göğüs kanseri genleri ile sağlıklı genlere ait spektrogram görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 1. a) Göğüs kanserli b) sağlıklı genlere ait spektrogram görüntüleri

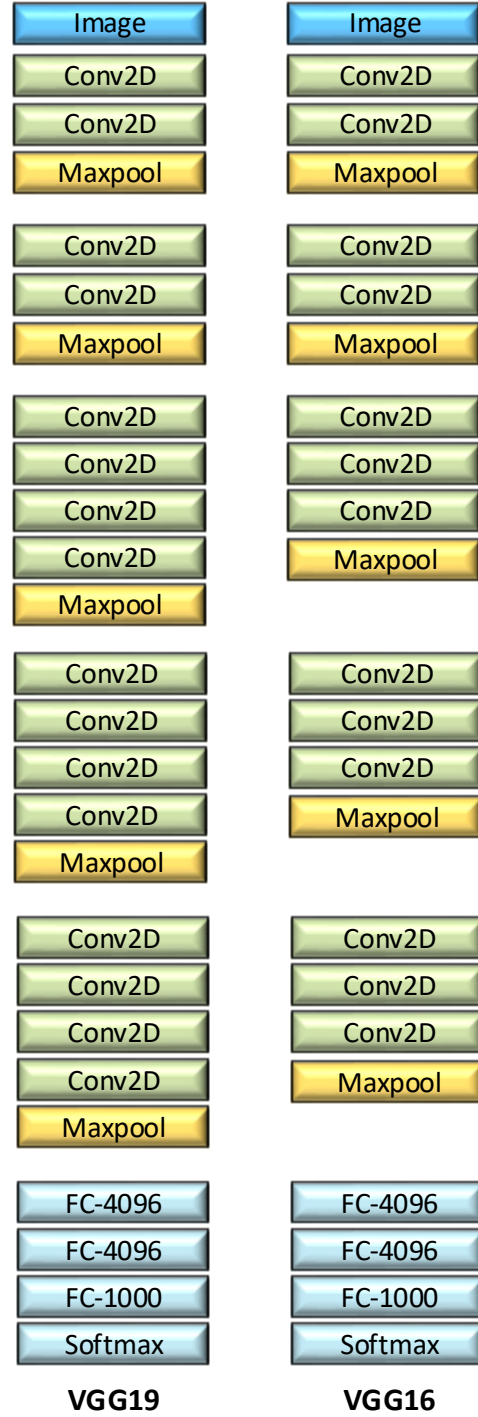
Evrimsel sinir ağları (ESA)

ESA, nesne tanıma, nesne takibi, sinyal/görüntü işleme ve sınıflandırma alanlarında başarılı sonuçlar vermesinden dolayı günümüzde en çok kullanılan derin öğrenme yöntemlerindedir (Toraman vd., 2018), (Yıldırım, 2019). Bu çalışmada Entropi tabanlı sayısal haritalama yöntemi ile oluşturulan göğüs kanseri genleri ile sağlıklı genlere ait verilerinin sınıflandırılması için kullanılmıştır. Çalışmada için kullanılan ESA modelleri VGG16 ve VGG19'dur. Bir ESA modelinin eğitilmesi için büyük miktarda veri ve aynı zamanda iyi bir donanıma sahip alt yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Sahip olunan donanım özelliklerine göre verilerin işlenmesi için, saatler hatta günlerce beklemek gerekebilmektedir. Eğer bir modelin eğitilmesi için gerekli olan veri bulunmuyorsa, bu durumda önceden eğitilmiş modeller kullanılabilir. Bu durum transfer öğrenme olarak adlandırılır. Transfer öğrenme ile önceden büyük veri kümeleri kullanılarak eğitilmiş bir model ile farklı bir alandaki veri kümesinden öznelik çıkarımı yapılabilmektedir (Hasan vd., 2019). Bu çalışmada da, önceden eğitilmiş VGG16 ve VGG19 modellerinden faydalanılmıştır.

VGG16 ve VGG19

ESA'ların popüler hale gelmesinde etkili olan model AlexNet'tir. Daha sonra Oxford Üniversitesi Visual Geometry Group (VGG) tarafından VGG16 modeli geliştirilmiştir. VGG16 da konvolüsyon katmanlarında küçük filtreler (3x3) kullanılmıştır. VGG16, 13 konvolüsyon katmanı ve 3 tam bağlı katmandan oluşmaktadır. 2x2 boyutlu 5 adet havuzlama (max pooling) katmanı bulunmaktadır. Son katmanda ise softmax bulunmaktadır. Softmax katmanı ile gelen giriş verisi sınıflandırılmaktadır (Ullah vd., 2018). Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu kullanılmıştır. VGG19, 16 konvolüsyon katmanı ve 3 tam bağlı katmandan oluşmaktadır. VGG19'da, VGG16 gibi 5 havuzlama ve son katman olarak softmaxtan oluşmaktadır. VGG16, 138 milyon parametre içerirken, VGG19 yaklaşık 144 milyon parametre içermektedir. (Gopalakrishnan vd., 2017),

(Simonyan vd., 2015) Şekil 2'de VGG16 ve VGG19'un mimarisi yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2. VGG16 ve VGG19 ESA mimarileri

Sınıflandırma

Verilerin sınıflandırılması için DVM ve k-NN kullanılmıştır. Aşağıda her iki sınıflandırıcıya ait bilgiler ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Destek vektör makineleri

DVM, sınıflandırma problemlerinde kullanılan ve yapısal risk azaltma ilkesine göre tasarlanmış bir yöntemdir. DVM, iki veya daha fazla sayıda sınıfı birbirinden ayıracak en uygun hiper düzlemi bulmayı amaçlamaktadır. İki sınıflı bir veri kümesinde $\{x_s, y_s\}, s = 1, 2, 3, \dots, n$ $x_s \in R^d$ d -boyutlu uzayda eğitim verileri olsun. $y_s \in \{-1, +1\}$ ise sınıfları temsil eden etiketler olsun (Toraman vd., 2019), (Khazaei vd., 2010). En uygun hiper düzlem tanımlayan eşitsizlikler şöyle tanımlanır;

$$\begin{aligned} w \cdot x_s + b &\geq +1, & y &= +1 \\ w \cdot x_s + b &\leq -1, & y &= -1 \end{aligned} \quad (3)$$

Sonuç olarak, doğrusal olarak ayrılabilen iki sınıflı bir veri kümesi için elde edilen karar fonksiyonu şöyledir;

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{s=1}^n y_s \alpha_s (x \cdot x_s) + b \right) \quad (4)$$

Burada α , Lagrange çarpanı, b bias ve x_s destek vektörleri temsil etmektedir (Toraman vd., 2019), (Khazaei vd., 2010). Çalışmada kullanılan çekirdek fonksiyonları; Radial Basis Fonksiyon (RBF), Polinomial ve Linear'dir.

k-En yakın komşu algoritması

Verilerin sınıflandırması için kullanılan diğer bir sınıflandırma yöntemi k-en yakın komşu algoritması (k-NN) dir. Parametrik olmayan bir yöntem olan k-NN'de, k değeri sınıflandırılacak yeni verinin karşılaştırılacağı komşu sayısını temsil etmektedir. k-NN yönteminde, gelen yeni veri hangi gruba yakınsa o gruba dahil edilmektedir. Yakınlık ölçüsü olarak genellikle Öklid mesafesi kullanılmaktadır. Böylece, gelen yeni veri en yakın sınıfa atanır (Duda vd., 2000), (Tuncer vd., 2019)

Performans değerlendirmesi

Önerilen yöntemin performansının değerlendirilmesi için k-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k değeri 5 olarak seçilmiştir. Böylece, veri kümesi 5 parçaya ayrılmıştır. 4 parça eğitim için

kullanılırken, kalan bir parça ise test için kullanılmıştır. Bu işlem tüm parçalar için uygulanmıştır. Performans değerlendirmesi için beş değer ortalama hesaplanmıştır. Performansları karşılaştırması için kullanılan parametreler aşağıdaki gibi tanımlanır; Doğru Pozitif (TP), doğru şekilde tanımlanan göğüs kanseri gen sayısını, yanlış negatif (FN), yanlış şekilde tanımlanan göğüs kanseri gen sayısını, doğru negatif (TN), doğru şekilde tanımlanan sağlıklı gen sayısı, yanlış pozitif (FP), yanlış şekilde tanımlanan sağlıklı gen sayısını göstermektedir.

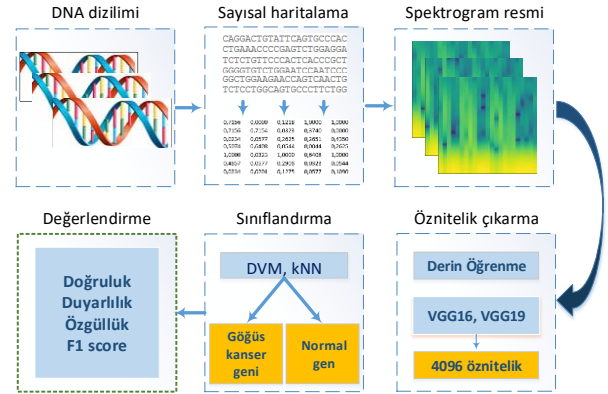
$$\text{Duyarluluk} = TP / (TP + FN) \times 100$$

$$\text{Özgüllük} = TN / (TN + FP) \times 100$$

$$\text{F1Score} = 2TP / (2TP + FP + FN)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{(TP + FP + FN + TN)} \times 100$$

Çalışmanın akış diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Önerilen yöntemin akış diyagramı

Deneysel sonuçlar ve tartışma

Çalışmada 6944 baz uzunluğundan göğüs kanseri geni ile yine aynı uzunlukta sağlıklı gen verisi kullanılmıştır. Her iki DNA dizilimi entropi tabanlı sayısal haritalama yöntemi ile sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan dizilimler kayan pencere yöntemi kullanılarak bölümlere ayrılmıştır. Ayrıştırma işlemi sırasında %95 örtüşme ile veriler elde edilmiştir. Her bir bölüm daha sonra spektrogram görüntüsüne dönüştürülmüştür. Spektrogram görüntüleri 875×656 piksel boyutundadır. Bu görüntüler,

VGG16 ve VGG19 modelleri için 224x224 piksel olacak şekilde yeniden boyutlandırılmış ve her bir spektrogram görüntüsünden derin öznitelikler çıkarılmıştır. VGG16 ve VGG19 modellerinde her bir resimden 4096 boyutunda öznitelik vektörü oluşmaktadır. Daha sonra çıkarılan bu öznitelik vektörleri DVM ve k-NN kullanılarak sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışmada, göğüs kanser geni ile sağlıklı gen verileri, iki farklı yöntem kullanılarak öznitelik çıkarımı yapılmıştır. İki farklı ESA modelinden elde edilen öznitelikler, iki farklı sınıflandırıcı yardımıyla sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın daha nesnel olması için k -katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k değeri 5 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemlerinin sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Entropi tabanlı sayısallaştırma yöntemlerinin VGG16 ve VGG19 modelleri ile gerçekleştirilen doğruluk değerleri verilmiştir. 5-katlı çapraz doğrulama uygulanmış a) DVM ve b) k-NN sınıflandırma sonuçları gösterilmektedir.

ESA modelleri	DVM	k-NN
VGG16	85.97 ± 0.026	80.48 ± 0.009
VGG19	84.03 ± 0.029	76.90 ± 0.013

Tablo 2 incelendiğinde, Entropi tabanlı sayısallaştırma yöntemi ile sayısallaştırılan verilerin her iki farklı ESA modelinde birbirlerine oldukça yakın sınıflandırma sonuçları ürettikleri görülmektedir. DVM ve k-NN sınıflandırıcıların başarımı karşılaştırıldığında ise DVM daha iyi bir sınıflandırma doğruluğuna ulaşırken, k-NN sınıflandırıcısı da ise daha düşük bir doğruluk elde edilmiştir. Çünkü DVM, genetik verilerin denetimli sınıflandırılmasında (DNA dizimleri, protein yapı verileri, mikroarray gen ekspresyonu, vb.) en popüler araçlardan biridir. DVM, biyoinformatikteki sınıflandırma ve regresyon görevleri için k-NN ve diğer makine öğrenmesi modellerinden çok daha etkili yöntemdir. Uygulamadaki gibi kanserli ve sağlıklı veri kümesi için ikili bir sınıflandırma problemi göz önüne alındığında DVM, pozitif olanları negatif olanlardan ayıran maksimum marjlı bir hiper düzlem oluşturur. Eğer DVM iyi bir şekilde eğitilmişse, mükemmel sonuçlar

üretebilir. Bununla birlikte, eğitimin kalitesi, DNA verisinin özelliğini en iyi yansıtan bir haritalama tekniğiyle sayısallaştırılmasına, verinin özellik alanına eşleştirilmesine ve problem için en uygun çekirdek fonksiyonunun seçilmesine bağlıdır.

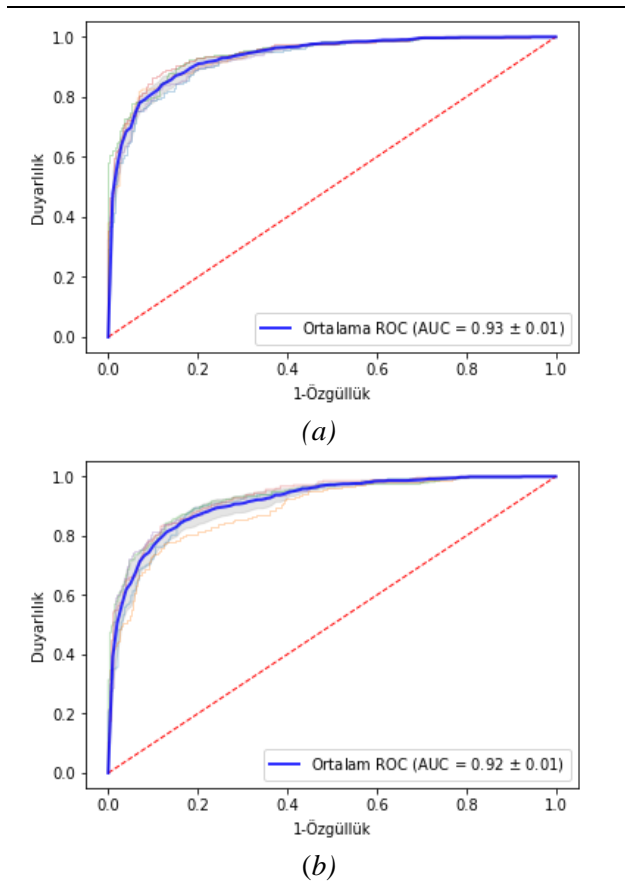
En iyi sınıflandırma başarımı %85.97 ile DVM sınıflandırıcı ve VGG16 modeli ile elde edilmiştir. VGG16 modeli VGG19 ya göre daha sığ bir modeldir. Sonuçlar incelendiğinde, modellerin derinliğin artmasının her zaman daha iyi bir sonuç vermeyeceği görülmektedir. VGG16 modelinin VGG19’a göre daha iyi bir sonuç vermesinin farklı nedenleri olabilir. Örneğin sonuçları daha genel bir pencereden irdelersek, hangi derin öğrenme modelinin hangi veri kümesinde daha iyi bir sınıflandırma sonucu vereceği verinin büyüklüğüne, verini ayırt edicilik özelliğine, verinin kalitesine, modelin parametrelerine ve modelin derinliği gibi birçok etkene bağlı olduğu söylenebilir. Ayrıca veri sayısı artırıldığında sonuçlarda farklılaşmanın olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Yöntemde DNA verilerinin sayısallaştırılması için kullanılan Entropi tabanlı haritalama tekniğinin özellikle tercih edilme sebebi, bu haritalama tekniğinin DNA diziliminin karmaşık yapısını daha iyi yansıtması ve sayısallaştırmayı kodonların tekrarlama sıklığına göre yapmasındandır. Ayrıca bu haritalama tekniği gen dizisi üzerinde kodonların tekrarlama sıklık değerlerine göre geniş bir korelasyon bilgisi aralığı sunmaktadır. Spektrogram görüntülerini görsel olarak göğüs kanseri geni ve normal gen dizileri olarak ayırt etmek zordur. Önceden eğitilmiş VGG16 ve VGG19 gibi ESA modelleri, görüntülerin özelliklerini çıkararak bu görevi başarıyla gerçekleştirebilir. Entropi tabanlı haritalama tekniğiyle sayısallaştırılmış kanserli ve sağlıklı genlerin spektrogram görüntülerinin karakteristikleri daha belirgindir. Bu durum spektrogram görüntülerinin etkili özellik çıkarımında önemlidir. Sınıflandırıcının performansı da etkili özellik kümesiyle paraleldir.

Literatürde DNA dizilimlerinden karaciğer (Leung vd., 2011), göğüs (Nurdin v., 2016) ve diğer kanser türlerinin taranmasına yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genellikle

Ayrık Fourier Dönüşümü (Chakraborty vd., 2016), Hidden Markov Modeli (Mayilvaganan vd., 2014) gibi sinyal işleme yöntemleri kullanılmaktadır ve hastalıklı gen sinyallerinde anormallikler şekilsel olarak veya baz mutasyonlarını dikkate alarak ifade edilmiştir. Fakat önerilen yöntemde segment bazlı bir sınıflandırma yapılmıştır.

Entropi tabanlı sayısal haritalama ile sayısallaştırılan verilerin VGG16 ve VGG19 modelleri kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi sonucu elde edilen ROC eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir. Testlerin doğru kararda gücünü göstermek için ROC eğrisi kullanılmaktadır. ROC eğrisinin altında kalan alan AUC değerini göstermektedir.



Şekil 4. Entropi tabanlı sayısal haritalama tekniği ile elde edilen verilerin 5 katlı çapraz doğrulama ile gerçekleştirilen sınıflandırma işlemine ait ROC eğrileri. a) VGG16 b) VGG19

AUC değerinin sol üst köşeye yakın olması istenen durumdur. Böylece, testin verileri ayırt

etme gücünün yüksek olduğu söylenebilmektedir. AUC değeri en yüksek %93 ile VGG16 modelinde elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem ile elde edilen sınıflandırma sonuçları bu ön çalışma için umut vaat edicidir. Geliştirilen yöntemin performans değerlendirmesi için kullanılan diğer göstergeler ise doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skor (F1 score)'dur. Tablo 3'de hesaplanan diğer parametreler verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre VGG16 daha iyi bir sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Yapılan sınıflandırmada en yüksek doğruluğa DVM'nin RBF çekirdek fonksiyonu ile ulaşılmıştır. DVM parametrelerinden $C [10^{-3}, \dots, 10^{+3}]$ aralığında incelenmiş ve $C=1000$ olarak seçilmiştir.

K-NN sınıflandırıcı için k parametresi ise $[1, \dots, 5]$ aralığında incelenmiştir. Tablo 2'de verilen k-NN sonuçları $k=1$ değeri için en yüksek sonuçları vermiştir. Spektrogram verileri MATLAB ortamında elde edilmiştir. Diğer işlemler Python ortamında keras kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Entropi tabanlı sayısal haritalama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma işleminin DVM'ye göre VGG16 ve VGG19 modellerinin doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skor değerleri (Doğ: Doğruluk, Duy: Duyarlılık, Özg: Özgüllük, F1: F1 skor)

ESA modelleri	Doğ (%)	Duy (%)	Özg (%)	F1 (%)
VGG16	85.97	84.13	87.79	85.70
VGG19	84.03	83.04	85.01	83.86

Sonuç

Bu çalışmada göğüs kanseri genine ait DNA sekansları ile sağlıklı bireylere ait DNA sekanslarının sınıflandırmasına yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yöntem ile DNA sekanslarının sınıflandırma problemine farklı bir bakış açısı getirilmesi hedeflenmiştir. Bu yeni bakış açısı, DNA sekanslarının entropi tabanlı yeni bir yöntem ile sayısallaştırılması ve sayısallaştırılan DNA dizilimlerinin 100 birimlik parçalara ayrılarak spektrogram resimlerine dönüştürülerek sınıflandırılması ile desteklenmektedir. Önerilen yöntem ile spektrogram resimleri kullanılarak derin ağlar

yardımıyla etkili bir öznelik çıkarımı yapılmıştır. Çıkarılan özneliklerin sınıflandırma başarımı, yapılan ön çalışma için tatmin edici olduğu görülmüştür. Sınıflandırma başarımı için derin ağların daha büyük veri setleri ile eğitilmesi sistemin geçerliliği ve güvenilirliğinin belirlenmesinde etkili bir adımdır. Bu nedenle, ileri dönük yapılacak olan çalışmalarda, derin ağların daha fazla veri kümesi ile eğitilmesi ve veri kümesinin artırılması planlanmaktadır. Ayrıca farklı derin öğrenme mimarilerinin de karşılaştırılması düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Bordoloi, H., Roy, D., Nirmala, S.R. (2018). A Framework for Codon Based Analysis to detect abnormalities responsible for Esophagus Cancer using Soft Computing Tool, 2018 5th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 170-174, Noida, India.
- Chakraborty S., Gupta V. (2016). DWT based cancer identification using EIIP, 2016 Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT), 718-723, Ghaziabad, India.
- Cheon H., Son J-H. (2016) Terahertz molecular resonance of cancer DNA , Scientific Reports, vol:6, Article number:37103.
- Das, B., ve Turkoglu, I. (2018). A novel numerical mapping method based on entropy for digitizing DNA sequences, Neural Comput. Appl. 29,8, 207-215.
- Daş, B. (2018). Development of New Approaches Based On Signal Processing For Disease Diagnosis From Dna Sequences, PhD Thesis, Firat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Elazig, Turkey.
- Duda, R.O., Hart, P.E., Stork, D.G. (2000). Pattern Classification, Second, Wiley-Interscience New York, NY, USA.
- Gopalakrishnan, K., Khaitan, S.K., Choudhary, A., Agrawal, A. (2017). Deep Convolutional Neural Networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection, Constr. Build. Mater. 157, 322–330.
- Hasan, M.J., Islam, M.M.M. , Kim, J.-M. (2019). Acoustic spectral imaging and transfer learning for reliable bearing fault diagnosis under variable speed conditions, Measurement, 138, 620–631.
- Khazae, A., Ebrahimzadeh, A., (2010). Classification of electrocardiogram signals with support vector machines and genetic algorithms using power spectral features, Biomed. Signal Process. Control. 5(4), 252-263.
- Karci, A. (2016). Fractional order entropy: New perspectives, Optik, 127,20, 9172-9177.
- Leung KS, Lee KH, Wang JF, Ng EY, Chan HL, Tsui SK, Mok TS, Tse PC, Sung JJ. (2011). Data Mining on DNA Sequences of Hepatitis B Virus, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology And Bioinformatics, 8,2, 428-440.
- Mayilvaganan M., Rajamani R. (2014), Analysis of nucleotide sequence with normal and affected cancer liver cells using Hidden Markov model, 2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, Coimbatore, India.
- Meng T, Soliman AT, Shyu ML, Yang Y, Chen SC, Iyengar SS, Yordy JS, Iyengar P., (2013). Wavelet Analysis in Current Cancer Genome Research: A Survey, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology And Bioinformatics, 10, 6, 1442-1459.
- Naeem SM., Mabrouk, MS., Eldosoky, MA. (2017) Detecting genetic variants of Breast cancer using different power spectrum methods, 13th International Computer Engineering Conference (ICENCO), 147-153, Cairo, Egypt.
- NCBI Genbankası: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (01 Haziran 2019).
- Nurdin A. D. binti S. and Isa M. N. bin M. (2016). Development and validation of BRCA1 for Next Generation Sequencing (NGS), 2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 702-706, Kuala Lumpur, Malaysia.

- Simonyan, K., Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks For Large-Scale Image Recognition. arXiv:1409.1556v6.
- Stratton, M.R., Campbell, P.J. and Futreal, P.A. (2009). The Cancer Genome. *Nature*, 458,7239, 719-724.
- Toraman, S., Girgin, M., Üstündağ, B., Türkoğlu, İ. (2019). Classification of the Likelihood of Colon Cancer With Machine Learning Techniques Using FTIR Signals Obtained From Plasma, *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 27, 1765-1779.
- Toraman, S. ve Türkoğlu İ., (2018). Kolon Kanseri Hastaları ve Sağlıklı Kişilerin FTIR Spektrogram Görüntülerinin Derin Öğrenme ile Sınıflandırılması, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 30(2), 115-120.
- Tuncer, SA., Akılotu, B., Toraman, S. (2019). A deep learning-based decision support system for diagnosis of osas using ptt signals, *Medical Hypotheses*, 127, 15-22.
- Ullah, I., Hussain, M., Qazi, E.-H., Aboalsamh, H. (2018). An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach, *Expert Syst. Appl.* 107, 61–71.
- Yildirim, Ö. (2019). ECG Beat Detection and Classification System Using Wavelet Transform and Online Sequential ELM, *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* 19, 1, 1940008.

Classification of Genomes Containing Normal and Breast Cancer Cells Using Convolutional Neural Networks

Extended Abstract

Extracting meaningful and accurate information from large data sets is an important element in bioinformatics studies. One of the most important challenges is the detection of genomic markers associated with cancer. Digitization of genome sequences used to solve this problem and feature extraction from the sequences are very effective in solving the problem. Different methods in the literature are used for digitizing DNA sequences. In feature extraction, in the previous studies, certain statistical parameters are calculated, and a distinction is made on these parameters. Moreover, the calculated parameters are selected based on the expert's experience. Furthermore, the calculated parameters are selected based on the expert's experience.

DNA sequences should be converted to digital signals to use them in genomic signal processing applications. In this study, Entropy Based Digital Mapping Technique, which is used in many previous genomic studies and has a high performance, has been used. In this technique, sequences were digitized according to the frequency of distribution of codons in DNA sequences using Fractional Shannon Entropy. The data set used for the experimental study was obtained from the NCBI database. For the application, DNA sequences belonging to six breast cancer genes and six healthy genes were used.

Since the data digitized by Entropy Based Digital Mapping Technique will be extracted features by using 2-D Convolutional Neural Network (CNN), the data should be converted to 2-D spectrogram image. While spectrogram images were obtained, it was set as Hamming window width was 12ms, overlap value was 8ms and Fourier transform number was 512. VGG16 and VGG19 CNN models were used for feature extraction from the digitized DNA sequences. The model that makes CNNs popular is AlexNet. Then, the VGG16 and VGG19 models were developed by the Oxford University Visual Geometry Group (VGG). The VGG16 consists of 13 convolution layers and 3 fully connected layers, while the VGG19 consists of 16 convolution layers and 3 fully connected layers. Both models consist of 5 max pooling and softmax as the last layer (Gopalakrishnan et al., 2017), (Simonyan et al., 2015), (Ullah et al., 2018).

In the feature extraction process using CNN models, the system extracts features from the data itself. The properties obtained in CNN models were then classified with the Support Vector Machine (SVM) and the k-Nearest neighbor algorithm (k-NN). The flow diagram of the study is shown Figure 1.

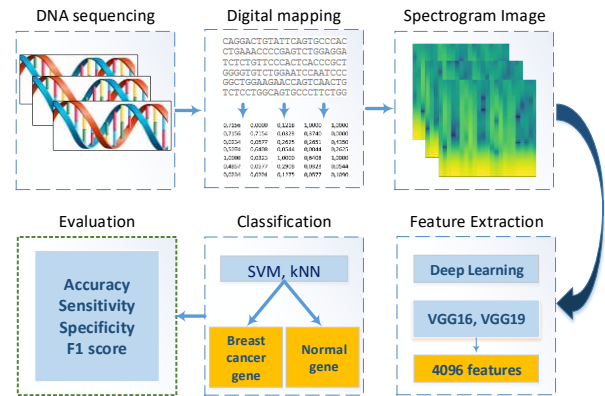


Figure 1. The flow diagram of the proposed method

In this study, the feature extraction was performed by using two different methods for breast cancer gene and healthy gene data. The properties obtained from two different CNN models were classified with the help of two different classifiers. In order to make the classification more objective, k-fold cross validation method was used. k value was determined as 5. The results of the classification procedures are shown in Table 1.

Table 1. The accuracy values of the entropy based numerical technique performed with VGG16 and VGG19 models are given. 5-fold cross-validation was performed. a) SVM, b) k-NN classification results are shown.

CNN Models	SVM	K-NN
VGG16	85.97 ± 0.026	80.48 ± 0.009
VGG19	84.03 ± 0.029	76.90 ± 0.013

In this study, a new approach is proposed for the classification of DNA sequences belonging to breast cancer gene and healthy individuals' gene. The proposed method aims to get a different perspective to the problem of classification of DNA sequences.

Keywords: DNA, Genom Analysis, Convolutional Neural Network, Classification, Cancer



Çevrimiçi sosyal medyada sahte haber tespiti

Feyza ALTUNBEY ÖZBAY

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ
faltunbey@firat.edu.tr ORCID: 0000-0003-0629-6888, Tel: (424) 237 00 00 (5575)

Bilal ALATAŞ*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ
balatas@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-3513-0329, Tel: (424) 237 00 00 (5599)

Geliş: 04.10.2019, Revizyon: 16.01.2020, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Son yıllarda, sosyal medyadan haber almak, bilginin hızlı bir şekilde yayılması, ucuz maliyet ve kolay erişim nedeniyle giderek daha popüler hale gelmiştir. Sosyal medyanın dünyadaki insanlar için temel bilgi kaynaklarından biri haline gelmesi toplum, kültür ve iş dünyası üzerinde olumlu ve olumsuz etkilere sahiptir. Sosyal medyadaki haberlerin kalitesi geleneksel haber kaynaklarından daha düşüktür ve sosyal medya sahte haber yaymak için çok uygundur. Sahte haberlerin insanlar ve toplum üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle, sahte haberlerin tespiti dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, sahte haberleri tespit etmek için iki aşamalı bir model önerilmiştir. İlk adımda, yapılandırılmamış verileri yapılandırılmış verilere dönüştürmek için sahte haberler içeren verilere bir dizi ön işlem uygulanmıştır. Bir sonraki adımda, yapılandırılmış sahte haber veri setine on denetimli yapay zekâ algoritması uygulanmıştır. Önerilen model dört farklı eğitim - test bölümlenmesi ile incelenmiştir. Erişime açık veri seti üzerinde; Naive Bayes, JRip, J48, Rastgele Orman, Stokastik Gradyan İnişi, Yerel Ağırlıklı Öğrenme, Naive Bayes ile Karar Ağacı, Yerine Koyarak Öğrenme, Regresyon ile Sınıflandırma denetimli yapay zekâ algoritmaları test edilmiş ve bu algoritmalar üç değerlendirme ölçütüne bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ algoritmaları; Sahte haber tespit; Çevrimiçi sosyal medya

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Teknolojideki hızlı gelişim, insanların bilgiye erişim için kullandıkları kaynakları değiştirmiştir. İnternetin ortaya çıkışı ile birlikte sosyal medya, dünya genelinde insanların bilgiye erişim için kullandığı temel bir kaynak haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda gazete, televizyon, radyo gibi geleneksel haber kaynakları yerine Twitter, Facebook gibi çevrimiçi sosyal medya platformları popüler duruma gelmiştir. İnsanların sosyal medyadaki haber kaynaklarını kullanmalarındaki temel neden; sosyal medya kaynaklarının düşük maliyetli ve kolay erişilebilir olması, ayrıca bilginin hızlı yayılmasını sağlamasıdır. Bu nedenle, her geçen gün sosyal medyadaki haberleri takip eden kullanıcı sayısı artmaktadır. Bu avantajlar, sosyal etkileşim ve bilgi paylaşımı için her yerde hazır bir platform oluşturmuştur. Sosyal medya, coğrafi sınırları olmayan milyonlarca üyesi olan sosyal gruplar oluşturulmasını kolaylaştırmıştır. Ayrıca, sosyal medya kullanıcıları, sosyal medyadaki “Paylaş” butonu ile haber makalelerini tüm grup üyeleri ile paylaşabilir. Böylelikle, sosyal medya tek bir tıklama ile milyonlarca insanın erişebileceği bir makaleyi yayma yeteneğine sahiptir. Sosyal medya birçok avantaj sağlamasına rağmen, sosyal medyadaki haberlerin kalitesi geleneksel haber platformlarına kıyasla daha düşüktür. Bazen sosyal medyadaki haberlerin içerikleri kötü niyetli kullanıcılar tarafından farklı amaçlar için değiştirilmektedir. Buna ek olarak, bu tip içerikler kontrol edilmeden iyi niyetli kişiler tarafından paylaşarak yayılmaktadır.

Sosyal medyadaki haberler ve yorumlar kullanıcıların fikirlerini önemli ölçüde etkiler. Sahte haber olarak adlandırılan düşük kaliteli bu tip haberlerin yayılması bireyleri ve toplumları olumsuz yönde etkilemektedir. Sahte haberler sadece bireyler ve toplumlar için değil, iş dünyası ve hükümetler için de tehlike oluşturabilmektedir. Bu nedenle, çevrimiçi sosyal medyadaki sahte haberlerin belirlenip tespit edilmesi gerekmektedir.

Sahte haberlerin tespit edilmesi problemi sosyal medyada yeni bir araştırma alanı olmasına

rağmen, son yıllarda önemli ölçüde dikkat çekmiştir. Problem, araştırmacılar tarafından farklı bakış açıları ile ele alınmıştır. Literatürde sahte haberlerin tespitine ve algılanmasına odaklanarak, sosyal medyadaki sahte haberlerin tespitinin geniş kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır (Shu vd., 2017). Bir diğer çalışmada, Facebook haber gönderileri kullanılarak oluşturulan bir yazılım sistemi ile sahte haber tespiti yapılmıştır (Granik ve Mesyura, 2017). Yazarlar, oluşturdukları sistemde Naive Bayes algoritmasını kullanarak % 74 doğruluk oranı ile bir başarı elde etmişlerdir. Sahte haber olarak kabul edilen haberlerin yayılmasını engellemek için yapılan başka bir çalışmada sosyal ağ kullanıcılarının bayrakları bir araya getirilerek, uzmanlar tarafından sahte haber alt kümeleri belirlenir ve haberlerin yayılması durdurulur (Tschatschek vd., 2018). Makine öğrenmesi algoritmaları temel alınarak önerilen bir yöntemde, Facebook verileri kullanılarak yöntemlerinin doğruluğunu test edilmiştir. Önerilen yöntemin doğruluk değeri % 82'dir (Vedova vd., 2018). Haber makaleleri üzerinde yapılan araştırmaları kolaylaştırmak için haber bilgi getiriminde son eğilimler konferansı (Corney vd., 2016) ile bağlantılı olan Sinyal Medya tarafından yayınlanan bir veri kümesi, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sahte haberleri belirlemek için kullanılmıştır (Gilda, 2017). Sahte haberleri, gerçek haberlerden ayırt etmek için hiciv ipuçları kullanılan bir diğer çalışmada, önerilen yöntemi test etmek için sivil toplum, bilim, ticaret ve yumuşak haber olmak üzere 4 ayrı alandaki sahte ve gerçek haberlerden, hiciv haberlerden yararlanılmıştır (Rubin vd., 2016). Sahte haberleri tespit etmek için 3 farklı özelliği birleştiren melez bir yöntem önerilmiştir. Özellikle, hem kullanıcıların ve makalelerin davranışları, hem de sahte haberleri yayınlayan kullanıcıların davranışları birleştirilmiştir. Bu üç özellikten hareketle, Yakalama, Puanlama ve Birleştirme adımlarını bir araya getiren melez bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem Twitter ve Weibo sosyal ağları üzerinde test edilmiştir (Ruchansky vd., 2017). Sahte haberleri tespit

etmek için, haber konuları ve haberi oluşturanlar arasındaki bağlantı bilgisini kullanarak, derin ayrıntılı ağ modeli önerilmiştir (Zhang vd., 2018). Bir diğer çalışmada, sosyal ağdaki kullanıcı hesap bilgileri de göz önüne alınarak sahte haberleri tespit etmek için yeni bir yöntem önerilmiştir (Long vd., 2017). Bu yöntemde, herhangi bir kullanıcının yaptığı haberlerin doğruluğunu tespit etmek için, aynı kullanıcının hesabındaki paylaşımlar değerlendirilir. Önerilen yöntem, sahte haber veri kümesi üzerinde test edilerek % 41.5 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Bir diğer çalışmada, güvenilir metinlerin dil özelliklerini belirlemek için, gerçek haberleri, hiciv ve aldatmaca haberler ile kıyaslanmıştır (Rashkin vd., 2017). Deneyleri, metinlerin doğruluğunu tespit etmek için biçimsel ipuçları belirlemeye uyarlanmıştır. Metasezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanarak sosyal medyadaki sahte haberleri tespit etmek için 2 aşamadan oluşan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemi test etmek için 3 farklı gerçek dünya verisi kullanarak farklı değerlendirme kriterlerine göre deney sonuçlarını vermişlerdir (Ozbay ve Alatas, 2019). Sahte haberleri tespit etmek için geometik derin öğrenme temelli bir model önerilmiştir (Monti vd., 2019). Önerilen yöntemi test etmek için Twitter tarafından doğrulanmış haber makalelerini kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada, haberi yayınlayanın duygusu ve sosyal duygunun bir araya getirilerek duygu tabanlı sahte haber tespiti yöntemi önerilmiştir (Guo vd., 2019).

Bu çalışmada çevrimiçi sosyal medyadaki sahte haberleri tespit etmek için iki adımdan oluşan bir yöntem önerilmiştir. Model metin analizi ve denetimli yapay zekâ algoritmalarının birleşiminden oluşmuştur. Metin analizi yöntemleri ile yapısal olmayan haber metinleri yapısal biçime dönüştürülerek, modelin ikinci adımında kullanılan denetimli yapay zekâ algoritmalarının işleyebileceği duruma getirilmiştir. Çalışmada 10 adet denetimli yapay zekâ algoritması (Naive Bayes, JRip, J48, Rastgele Orman, Stokastik Gradyan İniş (SGD), Yerel Ağırlıklı Öğrenme (LWL), Karar Ağacı ve

Naive Bayes (DTNB), Yerine Koyarak Öğrenme (Bagging), Regresyon ile Sınıflandırma (CvR)) ile yapısal haber veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Yapay zekâ yöntemleri gerçek dünya sahte haber verisi üzerinde 3 farklı metrik göz önüne alınarak test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı grafikler ve tablolar şeklinde sunulmuştur.

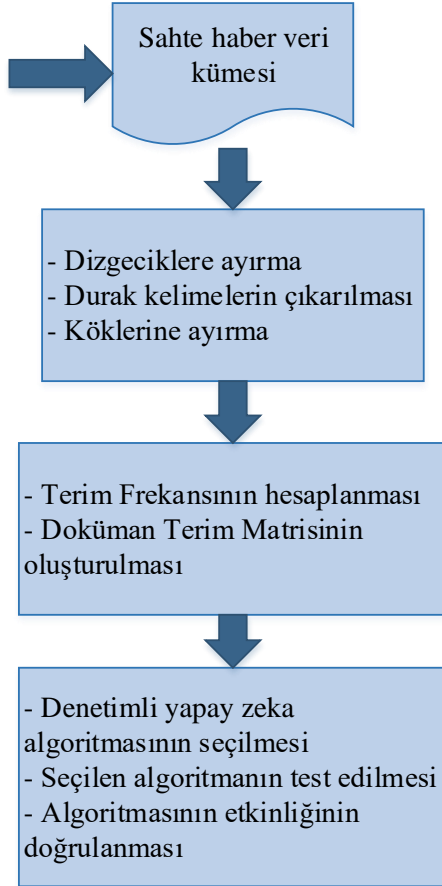
Sahte Haber Tespit Modeli

Bu bölümde, sahte haber tespiti için önerilen modelin ayrıntıları verilmektedir. Önerilen yöntem birbiri ile ilişkili adımlardan oluşmaktadır. Çevrimiçi sosyal medyadaki haberlerden oluşan yapısal olmayan veriden, sayılar ve durak kelimeler gibi gereksiz terim ve karakterler filtrelenerek ön işlem adımı gerçekleştirilir. Özellik uzayının boyutunu azaltmak için gereksiz terimler veriden çıkarılır ve daha sonra kelime sıklıklarına göre kök terimler seçilir. Elde edilen veri kümesinde her bir doküman içerisindeki terimler, Terim Frekans ağırlıklandırma yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve her bir doküman terim ağırlıklarını içeren bir vektör olan Vektör Uzay Modeli ile temsil edilmiştir. Modelin son adımında, sahte haber tespit problemi bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmış ve denetimli yapay zekâ algoritmaları sahte haber veri kümesine uygulanarak doğruluk, hassasiyet ve duyarlılık metriklerine göre karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar: Naive Bayes, JRip, J48, Random Forest, OneR, SGD, LWL, DTNB, Bagging, ClassificationViaRegression yöntemleridir. Önerilen sahte haber modelinin adımları Şekil 1’de verilmiştir.

Metin Madenciliği

Sosyal medya kullanıcıları, çevrimiçi sosyal medyada genellikle yapısal olmayan metin temelli veriler paylaşırlar. Bu verilerin, öğrenme sistemlerinde kullanılması için yapısal biçime dönüştürülmesi gerekir. Metin madenciliği yöntemleri bu aşamada kullanılarak, veriler yapısal biçime ve anlaşılabilir biçime dönüştürülerek yapay zekâ yöntemleri tarafından

işlenecek hale getirilir. Genel bir ifade olarak; metin madenciliği, büyük miktardaki metin temelli veriden kullanışlı bilginin aranması ve çıkarılmasıdır (Kumar ve Bhatia, 2013). Ön işlem adımları metin madenciliği tekniklerinde önemli rol oynar. Ön işlem adımları dizgeciklere ayırma, durak kelimelerin çıkarılması ve kök bulma olmak üzere 3 aşamada incelenmiştir.



Şekil 1. Sahte haber tespiti modelinin adımları

a) Dizgeciklere Ayırma

Dizgeciklere ayırma işlemi, metni dizge adı verilen küçük parçalara (sözcükler/ifadeler) ayırma görevidir. Aynı zamanda, tüm noktalama işaretleri, boşluk ve satır sonu karakterleri metin verisinden kaldırılır (Allahyari vd., 2017). Rakam içeren bütün terimler kaldırılır. Büyük/küçük harf ayrımı giderilir ve tek bir biçime dönüştürülür. Bu çalışmada metin içerisinde geçen terimlerin tamamı küçük harflere dönüştürülmüştür. En son adımda ise karakter sayısı N 'den küçük olan kelimeler N -

karakter filtresi ile silinmektedir. Bu çalışmada $N = 3$ olarak belirlenmiştir.

b) Durak Kelimelerin Çıkarılması

Metin içinde çok sık geçen fakat önemli olmayan kelimelerin çıkarılmasıdır. Durak kelimeler çıkarılarak terim uzayının boyutu azaltılır. Bağlaçlar, edatlar ve zarflar gibi kelimeler, durak kelimeler olarak kabul edilir.

c) Köklerine Ayırma

Bazı kelimeler aynı kökten oluşmalarına rağmen aldıkları eklere göre farklı anlamlar kazanmaktadır. Bu tip kelimelerin metin içerisinde geçme sıklığını belirlemek için köklerinin bulunması gerekir.

Yapılan çalışmada uygulanan metin ön işleme adımları Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Metin ön işlem adımları

Girdi: Metin verisi

Çıktı: İşlenmiş veri

1. Sayısal ifadelerin kaldırılması.
2. Noktalama işaretlerinin silinmesi.
3. N karakterden az kelimelerin silinmesi.
4. Büyük küçük harf ayrımının giderilmesi.
5. Durak kelimelerin çıkarılması.
6. Kelimelerin köklerine ayrılması.

Metin madenciliği çalışmalarındaki en büyük sorun yüksek boyutlu verilerdir. Bu nedenle, önerilen modelin başarımını artırmak için gereksiz özelliklerin metinden çıkarılması gerekir. Metin madenciliğinde özellik çıkarımı, metin özellik boyutunu azaltmak ve kullanışlı veri kümesi elde etmek için kullanılır. Veri kümesindeki her bir doküman için terimler ağırlıklandırılır ve her bir doküman terimlerin ağırlık vektörüne dönüştürülür. Bu temel gösterim Vektör Uzay Modeli (VUM) olarak adlandırılır. VUM'da, her bir kelime, kelimenin doküman içindeki ağırlığını gösteren bir değer ile ifade edilir. Bu çalışmada terimleri ağırlıklandırmak için Terim Frekansı (TF) yöntemi kullanılmıştır. TF bir kelimenin bir

dokümanda görülme sıklığını ifade eder ve Denklem 1 ile hesaplanır.

$$\text{Terim Frekansı: } TF = \frac{n_{ij}}{|d_i|} \quad (1)$$

Denklemden d_i i . dokümandaki tüm terimlerin toplam sayısıdır. n_{ij} ise i . dokümanda j . kelimenin sayısını temsil etmektedir.

Her bir dokümandaki kelimelerin TF değerleri hesaplandıktan sonra, terim ağırlıklarına göre Şekil 2'de gösterilen $m \times n$ boyutunda bir Doküman Terim Matrisi (DTM) oluşturulur.

$$D_m \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & \dots & A_{mn} \end{bmatrix}$$

Şekil 2. Doküman Terim Matrisi

Matriste her bir satır dokümanları, sütunlar ise terimleri ifade eder. Her bir hücre ise, dokümandaki terimlerin ağırlıklarını gösterir.

Performans Değerlendirme Kriterleri

Sahte haberleri tespit etmek için veri kümesine uygulanan denetimli yapay zekâ algoritmalarının başarılarını değerlendirmek için birçok farklı performans değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Algoritmaların başarılarını ölçmek için öncelikle bir karmaşıklık matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Sahte haber tespiti problemi için oluşturulan karmaşıklık matrisi Tablo 2'de verilmiştir. Matriste verilen terimler (DP, YP, YN, DN) sahte haber problemi için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

- Doğru Pozitif (DP): Tahmin edilen sahte haber aslında sahte bir haber ise, tahmin DP'dir.
- Yanlış Pozitif (YP): Tahmin edilen sahte haber aslında gerçek bir haber ise, tahmin YP'dir.

- Doğru Negatif (DN): Tahmin edilen gerçek haber aslında gerçek bir haber ise, tahmin DN'dir.
- Yanlış Negatif (YN): Tahmin edilen gerçek haber aslında sahte bir haber ise, tahmin YN'dir.

Tablo 2. Karmaşıklık matrisi

Karmaşıklık matrisi		Gerçek sınıf	
		Pozitif Sınıf	Negatif Sınıf
Tahmin edilen sınıf	Pozitif Sınıf	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
	Negatif Sınıf	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Karmaşıklık matrisindeki ifadelerle göre, uygulanan denetimli yapay zekâ algoritmalarının değerlendirilmesi için bu çalışmada Denklem (2-4) kullanılmıştır (Sokolova vd. 2006).

$$\text{Doğruluk} = \frac{|DN|+|DP|}{|YN|+|YP|+|DN|+|DP|} \quad (2)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{|DP|}{|YP|+|DP|} \quad (3)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{|DP|}{|YN|+|DP|} \quad (4)$$

Sahte haber tespiti problemi için doğruluk değeri, tüm veri kümesi içerisinde doğru tahmin edilen haberlerin oranıdır. Hassasiyet, sahte olarak tahmin edilen haberler içerisindeki, doğru tahmin edilen sahte haberlerin oranını gösterir. Duyarlılık ise, tahmin edilen sahte haberlerin, tüm sahte haberlere oranını ifade eder.

Yapay Zekâ Algoritmaları

Denetimli yapay zekâ algoritmaları, eğitim setine dayalı bir öğrenme şeklidir. Bu algoritmalar, eğitim verisindeki örneklerin etiketlerin bilindiğini varsayarlar. Denetimli yapay zekâ algoritmaları çalışmak için etiketli eğitim veri kümesi gerektirir ve denetlenecek verilere örnek olacak bir model döndürürler. Modelin görevi, giriş verisi için en az hata oranı ile bir çıktı

tahmin etmektedir. Aşağıdaki bölümde, bu çalışmada kullanılan denetimli yapay zekâ algoritmaları hakkında bilgi verilmiştir.

a) *Naive Bayes*

Naive Bayes adını İngiliz matematikçi Thomas Bayes'ten alan veri madenciliği ve makine öğrenmesi için etkili ve verimli bir algoritmadır. Naive Bayes sınıflandırıcısı, tüm özelliklerin eşit derecede bağımsız olduğunu varsayan güçlü bağımsızlık varsayımlarıyla birlikte Bayes Teoremini uygulamaya dayanan basit bir olasılık sınıflandırıcısıdır. Bayes sınıflandırıcısı, bir sınıfın belirli bir özelliğinin varlığının (veya yokluğunun), başka bir özelliğın varlığı (veya yokluğu) ile ilgisiz olduğunu varsayar (Vaishali vd. 2014).

b) *JRip*

JRip algoritması, "Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction (RIPPER) - Hata Üretmek İçin Tekrarlanan Artımsal Budama" olarak adlandırılan bir önermeli kural öğrenicisi kullanır. Bu yöntemde, sınıflar büyüyen boyutlarda incelenir. Sınıflar için ilk kural kümesi RIPPER kullanılarak üretilir. Algoritma, bir sınıfın tüm örnekleri kapsayan kural buluncaya kadar ilerler (Vaishali vd. 2014).

c) *J48*

J48 algoritması, genellikle sınıflandırma uygulamaları için tercih edilen algoritmadır. J48, ID3 ve C4.5 algoritmalarına dayanan istatistiksel bir karar ağacı algoritmasıdır. Her ağaçtan bir düğüm kullanma mantığı ile düğümler üzerinde çalışır. Bu nedenle, sınıflandırma algoritmaları arasında en hızlı ve ne yüksek hassasiyete sahip algoritmalarından biridir (Coşkun ve Baykal, 2011).

d) *Rastgele Orman*

Rastgele Orman algoritması, Tin Hou tarafından önerilmiştir (Ho, 1995). Rastgele orman, rastgele

bir vektörü değerlerine bağlı olacak şekilde ağaç tahmin ediciler topluluğudur. Belirtilen vektör, ormandaki tüm ağaçlar için aynı dağılımdan bağımsız olarak örneklenir (Khan vd. 2010).

e) *OneR*

OneR, Holte tarafından önerilen basit ve hızlı bir algoritmadır (Holte, 1993). Bu yöntemde, tek bir niteliğe dayalı basit kurallar üretilir. Algoritma, tahmin için minimum hata oranına sahip bir kural seçer (Frank ve Witten, 1998). İki veya daha fazla kural aynı hata oranına sahipse, kural rastgele seçilir.

f) *Stokastik Gradyan İniş (SGD – Stochastic Gradient Descent)*

Stokastik Gradyan İniş, amaç fonksiyonunu optimize etmek için yinelemeli bir metot kullanan modern bir sınıflayıcıdır. Algoritma, gradyanları değerlendirmek için rastgele seçilen örnekleri kullanır, bu nedenle stokastik olarak isimlendirilir (Ruder, 2016).

g) *Yerel Ağırlıklı Öğrenme (LWL - Locally Weighted Learning)*

Yerel ağırlıklı öğrenme, sınıf tahmininde karar vermek için ağırlıklandırılmış en yakın komşulara benzer bir yerel ağırlıklı eğitim kullanır. Bu yöntem, yerel yakınlardaki bir veri grubu arasındaki mesafeleri ve olasılıkları dikkate alarak uygun bir çıktı tahmin eder (Fong vd. 2013).

h) *Naive Bayes ile Karar Ağacı (DTNB – Decision Tree with Naive Bayes)*

DTNB, karar ağaçları ve Naive Bayes algoritmasının birleştirilmesiyle oluşturulmuş melez bir algoritmadır. Aramanın her noktasında, algoritma, nitelikleri iki ayrı alt gruba ayırmanın yararını değerlendirir (bir grup Karar ağacı için, diğeri de Naive Bayes için). İleri seçim araması kullanılır. Her adımda seçilen özelliklerin modellenmesi için Naive Bayes, geri kalanlar

için karar ağaçlarının kullanıldığı ileri seçim araması kullanılır. Bütün özellikler ise karar tabloları tarafından modellenir (Mahajan ve Ganpati, 2014).

i) Yerine Koyarak Örneklemeye (Bagging)

Bagging algoritması Breiman tarafından önerilen ve iyi bilinen topluluk algoritmalarından biridir (Ruder, 2016). Bagging, eğitim alt kümesini değiştirme ile ayarlanan tüm verilerden alır, çok sayıda temel öğrenici oluşturur ve son tahminleri yapmak için temel öğrenenlerin çıktılarını toplar (Hido vd., 1996).

j) Regresyon ile Sınıflandırma (CvR – Classification via Regression)

Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ampirik olarak belirlenmiş bir fonksiyonla değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, geleneksel karar ağacını düğümlerde doğrusal regresyon olasılığı ile birleştiren M5P baz sınıflandırıcısı kullanır (Quinlan, 1992).

Deney Sonuçları

Önerilen yöntemi test etmek için ISOT sahte haber veri kümesi kullanılmıştır (Ahmed vd., 2017). Veri kümesinde sahte ve gerçek haber makalelerinden oluşmuştur. Doğru haberler Reuters.com haber sayfasından, sahte haberler ise farklı haber kaynaklarından derlenerek elde

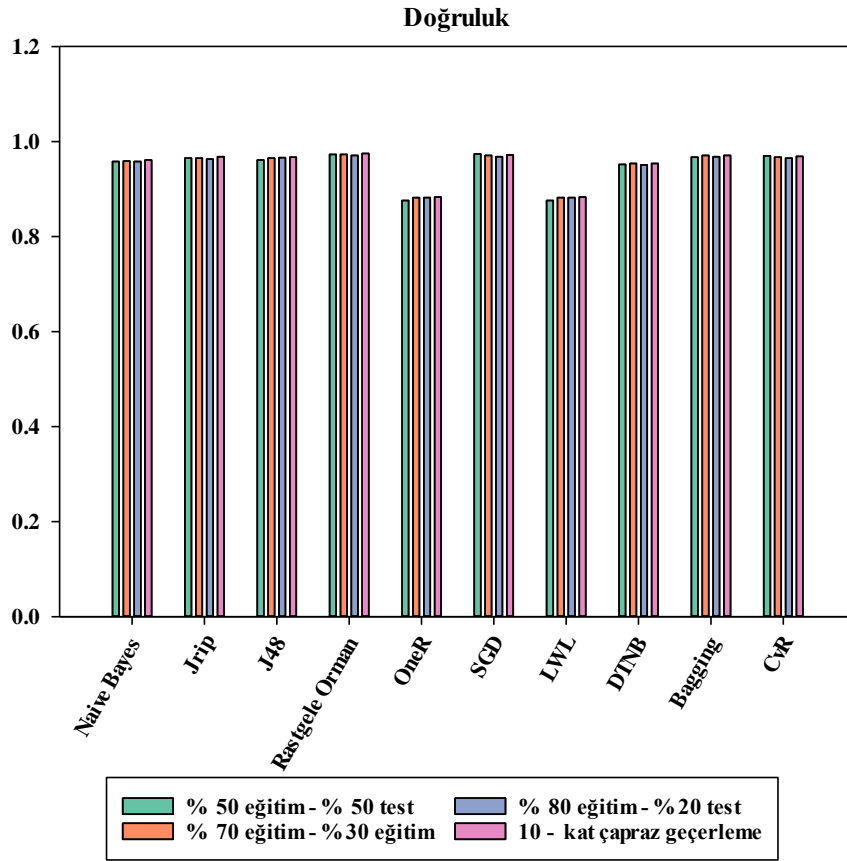
edilmiştir. ISOT veri kümesinde 21,417 gerçek etiketli 23,481 sahte etiketli haber makalesi yer almaktadır. Veri kümesinde farklı konularda haber makaleleri bulunmaktadır, özellikle politik ve dünya haberleri yer almaktadır.

Veri kümesi üzerinde, Naive Bayes, Jrip, J48, Random Forest, OneR, SGD, LWL, DTNB, Bagging ve CvR olmak üzere 10 farklı yapay zekâ algoritması ile sahte haberleri tespit etmek için deneyler yapılmıştır. Yapay zekâ algoritmaları, veri üzerinde test edilirken 4 farklı eğitim-test bölümlenmesi yapılmıştır: % 50 eğitim - % 50 test, % 70 eğitim - % 30 test, % 80 eğitim - % 20 test ve 10 – kat çapraz geçirme olarak belirlenmiştir. Belirlenen bölümlenmeler ile ISOT sahte haber kümesi üzerinde önerilen yöntemin performansları doğruluk, hassasiyet ve duyarlılık istatistiksel değerlendirme ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

ISOT veri kümesi sahte ve gerçek haberleri tahmin etmek için kullanılan 10 yapay zekâ algoritması ile elde edilen doğruluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre % 50 eğitim - % 50 test deney grubunda SGD 0.974 değeri ile en yüksek doğruluk değerini vermiştir. Rastgele Orman algoritması ise % 70 eğitim - % 30 test, % 80 eğitim - % 20 test ve 10 - kat çapraz geçirme deney gruplarında en yüksek değeri vermiştir. 4 farklı deney için 10 farklı algoritma ile elde edilen doğruluk değerlerinin grafik ile gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yapay zekâ algoritmaları ile elde edilen doğruluk değerleri

Yapay Zekâ Algoritmaları	Test Kriterleri			
	% 50 eğitim - % 50 test	% 70 eğitim - % 30 test	% 80 eğitim - % 20 test	10 - kat çapraz geçirme
Naive Bayes	0.958	0.959	0.958	0.961
Jrip	0.965	0.965	0.963	0.968
J48	0.961	0.965	0.966	0.967
Rastgele Orman	0.973	0.973	0.971	0.975
OneR	0.876	0.882	0.882	0.883
SGD	0.974	0.971	0.968	0.972
LWL	0.876	0.882	0.882	0.883
DTNB	0.952	0.954	0.951	0.954
Bagging	0.967	0.971	0.968	0.971
CvR	0.970	0.967	0.965	0.969



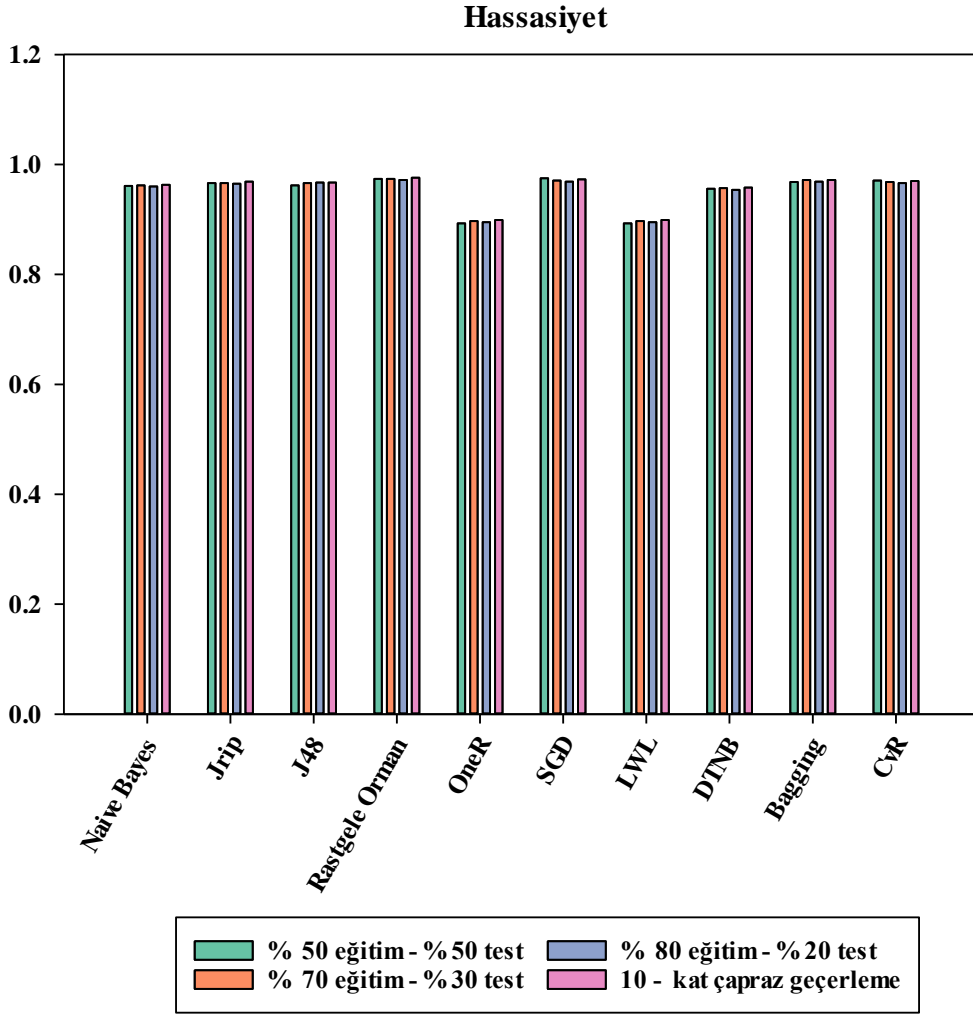
Şekil 3. Yapay zekâ algoritmalarının doğruluk değerleri

ISOT sahte haber veri kümesi üzerinde 10 farklı denetimli yapay zekâ algoritması ile elde edilen hassasiyet değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen değerlere göre, 0.975 değeri ile SGD algoritması % 50 eğitim - % 50 test deneyinde en

yüksek hassasiyete sahiptir. Diğer 3 deney grubu için Rastgele Orman algoritması en iyi değerleri vermiştir. Elde edilen hassasiyet değerleri Şekil 4'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Yapay zekâ algoritmaları ile elde edilen hassasiyet değerleri

Yapay Zekâ Algoritmaları	Test Kriterleri			
	% 50 eğitim - % 50 test	% 70 eğitim - % 30 test	% 80 eğitim - % 20 test	10 - kat çapraz geçerleme
Naive Bayes	0.961	0.962	0.960	0.963
Jrip	0.966	0.966	0.965	0.969
J48	0.962	0.966	0.967	0.967
Rastgele Orman	0.974	0.974	0.972	0.976
OneR	0.893	0.897	0.895	0.899
SGD	0.975	0.971	0.969	0.973
LWL	0.893	0.897	0.895	0.899
DTNB	0.956	0.957	0.954	0.958
Bagging	0.968	0.972	0.969	0.972
CvR	0.971	0.968	0.966	0.970



Şekil 4. Yapay zekâ algoritmalarının hassasiyet değerleri

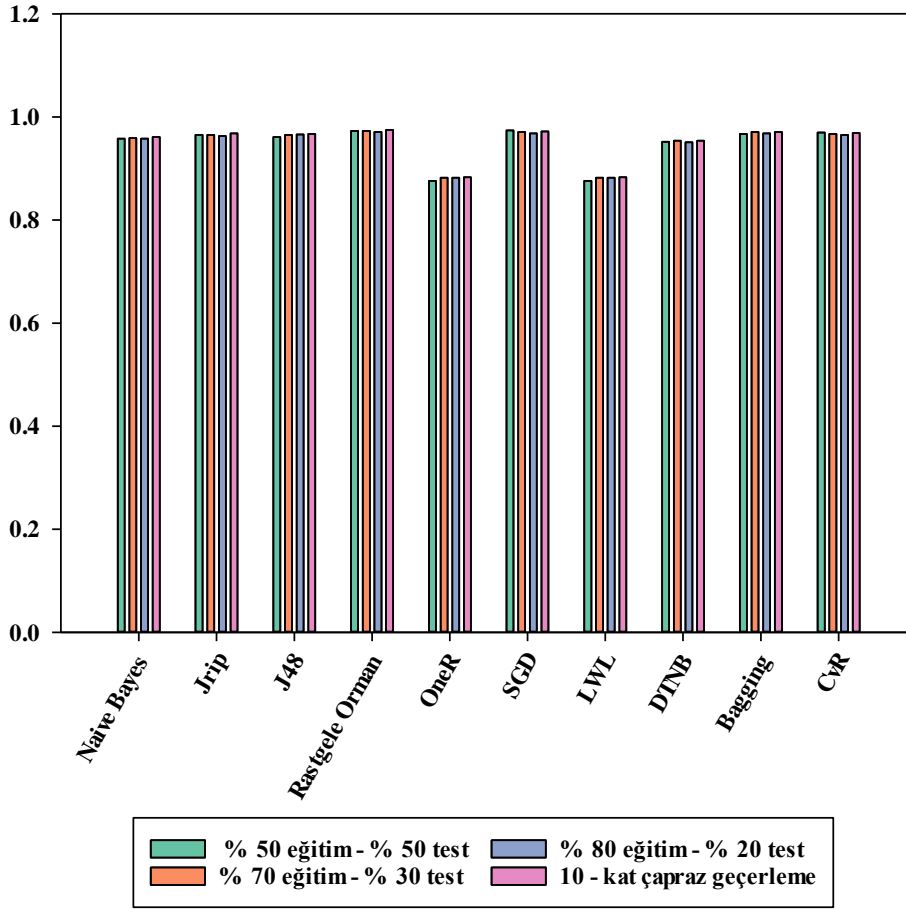
Tablo 5. Yapay zekâ algoritmaları ile elde edilen duyarlılık değerleri

Yapay Zekâ Algoritmaları	Test Kriterleri			
	% 50 eğitim - % 50 test	% 70 eğitim - % 30 test	% 80 eğitim - % 20 test	10 - kat çapraz geçерleme
Naive Bayes	0.959	0.960	0.959	0.962
Jrip	0.966	0.966	0.964	0.968
J48	0.962	0.966	0.966	0.967
Rastgele Orman	0.973	0.974	0.971	0.976
OneR	0.877	0.883	0.883	0.884
SGD	0.975	0.971	0.969	0.973
LWL	0.877	0.883	0.883	0.884
DTNB	0.953	0.954	0.951	0.955
Bagging	0.968	0.972	0.969	0.971
CvR	0.971	0.968	0.966	0.970

Kullanılan yapay zekâ algoritmaları ile 4 farklı deney grubu üzerinde elde edilen duyarlılık değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Bu değerlere göre SGD algoritması 0.975 değeri ile % 50 eğitim - % 50 test deney grubunda en iyi değeri

vermiştir. Diğer performans ölçütlerinde olduğu gibi bu ölçütte de Rastgele Orman algoritması kalan 3 deney grubu için en yüksek değeri vermiştir. Bu değerler, Şekil 5’de grafiksel olarak verilmiştir.

Duyarlılık



Şekil 5. Yapay zekâ algoritmalarının duyarlılık değerleri

Sonuçlar

Sosyal medya sitelerinin giderek artan popülerliği ile kullanıcılar tarafından oluşturulan mesajlar hızla geniş bir kitleye ulaşabilir. Böylece, sosyal medya sahte haberlerin yayılması için ideal bir ortam haline geldi. Sahte haberlerin hızlı yayılımı ve geniş kitleler tarafından erişilebilir olması toplumsal ve ekonomik olarak pek çok zarara neden olabilir ve bununla birlikte siyasi olayların sonuçlarını da manipüle edebilir. Bu nedenle, sosyal medyadaki sahte haberlerin tespit edilmesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir.

Bu çalışmada çevrimiçi sahte haber tespit problemi sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır ve Naive Bayes, JRip, J48, Rastgele Orman, Stokastik Gradyan İniş, Yerel Ağırlıklı Öğrenme, Naive Bayes ile Karar Ağacı, Yerine Koyarak Öğrenme, Regresyon ile Sınıflandırma

denetimli yapay zekâ algoritmalarının toplu olarak gerçek veri setindeki başarısı ilk kez incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Stokastik Gradyan İniş algoritması % 50 eğitim - % 50 test deney grubunda doğruluk, hassasiyet ve duyarlılık performans değerlendirme ölçütlerine göre sırasıyla 0.974, 0.975 ve 0.975 değerleri ile en iyi sonucu veren algoritmadır. % 70 eğitim - % 30 test, % 80 eğitim - % 20 test ve 10 - kat çapraz geçerleme deney gruplarında doğruluk, hassasiyet ve duyarlılık ölçütlerine göre Rastgele Orman algoritması ISOT veri kümesi üzerinde en iyi performansı göstermiştir.

İleride sahte haber tespit problemi için farklı metrikler cinsinden daha performanslı sistemlerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinin optimizasyonu ve parametre analizlerinin gerçekleştirilmesi, bu problemin

bir optimizasyon problemi olarak modellenmesi amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

- Ahmed, H., Traore, I., Saad, S., (2017). Detection of Online Fake News Using N-Gram Analysis and Machine Learning Techniques. International Conference on Intelligent, Secure, and Dependable Systems in Distributed and Cloud Environments. 127-138.
- Allahyari, M., Pouriyeh, S., Assefi, M., Safaei, S., Trippe, E. D., Gutierrez, J. B., Kochut, K., (2017). A brief survey of text mining: Classification, clustering and extraction techniques. arXiv preprint arXiv:1707.02919.
- Breiman, L., (1996). Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140.
- Corney, D., Albakour, D., Martinez, M., and S. Moussa, S., (2016). What do a million news articles look like?. First International Workshop on Recent Trends in News Information Retrieval co-located with 38th European Conference on Information Retrieval, Italy, 42-47.
- Coşkun, C., Baykal, A., (2011). An Application for Comparison of Data Mining Classification Algorithms. *Akademik Bilişim*, 1-8.
- Fong, S., Luo, Z., Yap, B. W., (2013). Incremental learning algorithms for fast classification in data stream. 2013 International Symposium on Computational and Business Intelligence, India, 186-190.
- Frank, E., I. Witten, I., (1998). Generating Accurate Rule Sets Without Global Optimization. Fifteenth International Conference on Machine Learning, San Francisco.
- Gilda, S., (2017). Evaluating Machine Learning Algorithms for Fake News Detection. 15th Student Conference on Research and Development, Malaysia, 110-115.
- Granik, M., Mesyura, V., (2017). Fake news detection using naive Bayes classifier. First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Ukraine, 900-903.
- Guo, C., Cao, J., Zhang, X., Shu, K., Yu, M., Exploiting emotions for fake news detection on social media, arXiv preprint arXiv:1903.01728, 2019.
- Hido, S., Kashima, H., Takahashi, Y., (2009). Roughly balanced bagging for imbalanced data. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 2, 412-426.
- Ho, T. K., (1995). Random decision forests. 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Canada, 1, 278-282.
- Holte, R. C., (1993). Very simple classification rules perform well on most commonly used data sets, *Machine Learning*, 11, 63-90.
- Khan, R., Hanbury, A., Stoettinger, J., (2010). Skin detection: A random forest approach. IEEE International Conference on Image Processing, China, pp. 4613-4616.
- Kumar, L., Bhatia, P. K., (2013). Text Mining: concepts, process and applications. International Journal of Global Research in Computer Science, 4(3), 36-39.
- Long, Y., Lu, Q., Xiang, R., Li, M., Huang, C. R., (2017). Fake news detection through multi-perspective speaker profiles. Eighth International Joint Conference on Natural Language Processing, Taiwan, 2, 252-256.
- Mahajan, A., Ganpati, A., (2014). Performance evaluation of rule based classification algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 3(10), 3546-3550.
- Monti, F., Frasca, F., Eynard, D., Mannion, D., Bronstein, M. M., (2019). Fake news detection on social media using geometric deep learning, arXiv preprint arXiv:1902.06673, 2019.
- Ozbay, F. A., Alatas, B., (2019). A Novel Approach for Detection of Fake News on Social Media Using Metaheuristic Optimization Algorithms. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 25(4), 62-67.
- Quinlan JR., (1992). Learning with continuous classes. 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, 92, 343-348.
- Rashkin, H., Choi, E., Jang, J. Y., Volkova, S., Choi, Y., (2017). Truth of varying shades: Analyzing language in fake news and political fact-checking. 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Denmark, 2931-2937.
- Rubin, V., Conroy, N., Chen, Y., & Cornwell, S., (2016). Fake news or truth? using satirical cues to detect potentially misleading news. Second Workshop on Computational Approaches to Deception Detection, California, 7-17.
- Ruchansky, N., Seo, S., Liu, Y., (2017). Csi: A hybrid deep model for fake news detection. 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management, Singapore, 797-806.
- Ruder, S., (2016). An overview of gradient descent optimization algorithms, arXiv preprint arXiv:1609.04747, 2016.

- Shu, K., Sliva, A., Wang, S., Tang, J., Liu, H., (2017). Fake news detection on social media: A data mining perspective. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 19, 22-36.
- Sokolova, M., Japkowicz, N., Szpakowicz, S., (2006). Beyond accuracy, F-score and ROC: a family of discriminant measures for performance evaluation. Australasian joint conference on artificial intelligence, Australia, 1015-1021.
- Tschiatschek, S., Singla, A., Gomez Rodriguez, M., Merchant, A., Krause, A., (2018). Fake news detection in social networks via crowd signals. In Companion of the The Web Conference 2018 on The Web Conference 2018, 517-524.
- Vaishali, V., Bhalodiya, N., N.N Jani, N. N., (2014). Applying Naïve bayes, BayesNet, PART, JRip and OneR Algorithms on Hypothyroid Database for Comparative Analysis, International Journal of Darshan Institute on Engineering Research & Emerging Technologies, 3(1).
- Vedova, M. D., Tacchini, E., Moret, S., Ballarin, G., DiPierro, M., de Alfaro, L., (2018). Automatic Online Fake News Detection Combining Content and Social Signals. 22st Conference of Open Innovations Association, 272-279.
- Zhang, J., Cui, L., Fu, Y., Gouza, F. B., (2018). Fake news detection with deep diffusive network model. arXiv preprint arXiv:1805.08751.

Fake News Detection in Online Social Media

Extended abstract

In recent years, consuming news from social media has become increasingly popular due to its rapid dissemination of information, cheap cost, and easy access. The fact that social media becomes one of the main sources of information for people in the world has positive and negative effects on society, culture and business world. The quality of news on social media is lower than traditional news sources and social media are very suitable for spreading fake news. Owing to the detrimental effects of fake news on people and society, the detection of fake news is attracting attention. Online social media are attracted worldwide attention and increased its popularity by day by. The digital information age offers content creators the opportunity to publish which is known as "fake news" that is deliberately designed to mislead the reader. Major online social networking sites like Facebook, Twitter and Weibo make it easy to spread fake news to crowded readers. People can be affected negatively by fake news and accept false ideas. In addition, the propagation of fake news can reduce the reliability of the right news. Due to the large enormous of textual data generated by people and machines around the world, text mining applications in different areas have grown significantly. Text mining is a combination of algorithms and methods designed to extract hidden information and explore interesting patterns from unstructured textual data for different objectives.

Supervised artificial intelligence algorithms use the idea of learning from samples that try to find the relationship between input attributes and target attributes. The relationship found is represented by a structure expressed as a model. These algorithms provide a robust and fast model. They require a train set of labeled data. Their working principle is to learn from a set of labeled samples in the training set. As a result, unlabeled samples in the test set can be predicted.

In this study, a two-step model is proposed for detecting fake news. In the first step, a number of pre-processing is applied to the data set containing fake news to convert unstructured data into structured data. In the next step, ten supervised artificial intelligence algorithms are implemented on a structured fake news dataset. The proposed model is examined with four different train-test partitions. This experimental evaluation is performed with the

Naive Bayes, JRip, J48, Random Forest, Stochastic Gradient Descent, Locally Weighted Learning, Decision Tree with Naive Bayes, Bagging, Classification via Regression supervised artificial intelligence algorithms on an existing public dataset and these algorithms are compared depending on accuracy, precision, and recall evaluation metrics.

Keywords: Artificial intelligence algorithms, Fake news detection, Online social network

Radio Frequency Energy Harvesting with Phase Shift Keying Modulation Technique

Mustafa CANSIZ^{1,*}

¹Dicle University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Diyarbakır/Turkey, ORCID ID: 0000-0003-2534-9770

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 October 2019
Received in revised form 24
November 2019
Accepted 2 December 2019
Available online 30 March 2020

*Keywords: Radio frequency,
Energy harvesting, Measurement,
Modulation, Phase shift keying.*

ABSTRACT

In this study, impacts of phase shift keying modulation technique on charging times of Radio Frequency (RF) energy harvesting circuit were measured and evaluated in detail. A measurement system was established for receiving and recording measurement packets. The measurement system was performed by utilizing a signal generator, an RF energy harvesting circuit, patch antennas and the other auxiliary devices. Output power level of the signal generator was adjusted to 14 dBm. The modulated signals were harvested wirelessly at distances from 20 cm to 50 cm at the interval of 5 cm by the RF energy harvesting circuit. For each distance, 100 consecutive measurement packets were obtained and hence, totally 700 measurement packets were analyzed for charging times. According to the measurement results, the shortest charging time was calculated as 7.97 s at a distance of 20 cm. In addition to that, the longest charging time was evaluated as 48.88 s at a distance of 50 cm for the phase shift keying modulated signals.

Doi: 10.24012/dumf.639282

Introduction

Many different energy sources such as thermal gradients, solar, mechanical vibrations, and electromagnetic waves are used to provide power for electronic devices. It is possible to utilize multiple combinations of these energy sources as well [1]. Radio Frequency (RF) energy harvesting technology as an alternative energy source has recently attracted considerable attention. This promising technology uses electromagnetic waves in the ambient environment as an alternative energy source.

An RF energy harvesting circuit collects the RF energy in the ambient environment and

stores the harvested RF energy into the capacitor. In order to harvest more RF energy, the most powerful RF bands should be detected. For detecting power levels of the electromagnetic waves, many RF spectral measurements were conducted in different countries [2]–[10]. Therefore, the higher the amount of harvested RF energy, the shorter the charging time of the RF energy harvesting circuit.

RF energy harvesting circuits are utilized in many application fields such as industrial monitoring, building automation, data centers, smart grid, defense and agriculture.

* Corresponding author
Mustafa CANSIZ
✉ e-mail mustafa.cansiz@dicle.edu.tr

Recently, the RF energy harvesting technology has been of great interest and there are various studies in the literature on this subject [11]–[15]. An RF energy harvesting circuit can be designed and manufactured as single, dual, triple, quad or broad band for gathering energy.

The waveform of the RF signal in the time domain affects the amount of harvested RF energy and the efficiency as well. In some studies, the efficiency of system was improved by utilizing the signals with various waveforms [16]–[20]. In [21], the nonlinear behavior of diodes in RF energy harvesting was presented for small-signal and large-signal operations. The effect of multi-tone signals on the rectified waveform was illustrated for multi-sine input signal of RF energy harvester. The charging time of an energy storage unit also changes with the input RF signal [22]. In [23], the statistical distributions of charging time were investigated for RF energy harvesting systems. Since modulation techniques directly impact the RF waveforms, they have also an effect on the system performance of RF energy harvesters. In [24], the efficiency of an RF-DC rectifier QPSK and 16-QAM modulation techniques were analyzed for different power levels. The charging time of the RF energy harvesting circuit varies according to the different waveforms. Therefore, the RF signals with different modulation techniques may have different charging times. In [25], an analytical expression for the probability density function of charging time based on the symbols of modulation techniques was expressed.

In this study, it was aimed to measure and evaluate the impacts of Phase Shift Keying (PSK) modulation technique on charging times of an RF energy harvesting circuit. For this purpose, an advanced measurement set up was installed for acquiring measurement packets. Finally, measurement results were analyzed in detail.

Materials and Methods

In this section, the charging times of the RF energy harvesting circuit that collected powers of the PSK modulated signals were measured at different distances. Besides, measurement set up was explained in detail and collection of measurement samples was described.

Measurement set up

As seen in Fig. 1, the measurement set up consists of Universal Software Radio Peripheral (USRP)-2900 Software Defined Radio from National Instruments [26], P2110 Powerharvester module from Powercast Company [27], WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board, Microchip 16-bit XLP Development Board [28], PICTail Daughter Card, and PCB Patch antennas as receiver and transmitter antennas.

PSK is a modulation technique that conveys digital data by changing the phase of a carrier signal. Samples per symbol were selected as 8 for PSK modulation technique. Pseudo noise sequence order was chosen as 10 for 8-PSK. Moreover, 8-PSK was used as a modulated signal and it has totally 1 MHz bandwidth.

In this study, USRP-2900 was used as a signal generator and the PSK modulated signals at 915 MHz carrier frequency were generated by the USRP-2900. Output power level of the USRP-2900 was set to 14 dBm. P2110 Powerharvester module was utilized as an RF energy harvesting circuit. The modulated signals generated by the USRP-2900 were collected wirelessly by the P2110 Powerharvester module at distances from 20 cm to 50 cm at the interval of 5 cm. As shown in Fig. 1, two PCB patch antennas were employed. One of the patch antennas was connected to the USRP-2900 as a transmitter antenna and the other one was attached to the P2110 Powerharvester module as a receiver antenna. Each PCB patch antenna has 68° vertical and 122° horizontal pattern. Moreover, it has 6.1 dBi antenna gain and it is vertically polarized and directional antenna. P2110 Powerharvester module can collect power down to -11.5 dBm. This module enables efficient energy harvesting between 902 MHz and 928 MHz frequency band. In addition to that, WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board that is plugged into the P2110 Powerharvester module senses temperature, humidity and light. When the P2110 Powerharvester module provides sufficient power for this wireless sensor board, it sends the data such as Received Signal Strength Indicator (RSSI), Node and Transmitter (TX) ID, temperature, humidity and light to the PICTail Daughter Card as an access point.

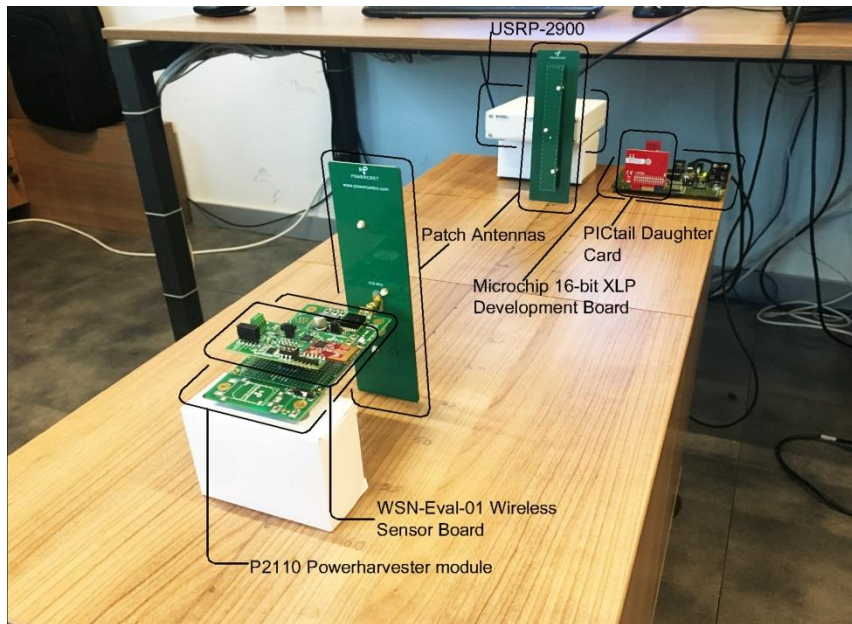


Figure 1. Measurement set up

Microchip 16-bit XLP Development Board includes the Microchip's PIC24F micro controller unit and this development board is able to receive the data sent from the P2110 Powerharvester module up to 8 Node IDs at the same time. Moreover, the development board can manage time counter for each Node ID separately. Furthermore, the PICtail Daughter Card that is plugged into Microchip 16-bit XLP Development Board is used as an access point and it has IEEE 802.15.4 (2.4 GHz) radio module.

Collection of measurement samples

The P2110 Powerharvester module transmits the data such as RSSI, Node ID, TX ID, temperature, humidity and light wirelessly to the PICtail Daughter Card via the WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board. In order to receive the measurement samples, the Microchip 16-bit XLP Development Board was attached to a computer with a cable. The Microchip 16-bit XLP Development Board acquires packet numbers and then, calculates time and time difference (ΔT) between sequential packets. The measurement samples were recorded and illustrated via HyperTerminal as shown in Fig. 2. The configuration of the HyperTerminal must be set as baud rate: 19200, data bits: 8 bits, parity and none stop bits: 1 bit and flow control:

hardware to display the measurement samples. The data from the PICtail Daughter Card (access point) and the data from the WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board (wireless sensor board) were shown in Fig. 2.

Results and Discussions

The received power levels of the PSK modulated signals vary with the distances. The charging times of the RF energy harvesting circuit depend on the received power levels of the PSK modulated signals. Therefore, the longer the distance, the longer the charging time.

The time difference (ΔT) between two consecutive measurement packets as seen in Fig. 2 was defined as charging time. The charging time for each distance was calculated as mean of the time difference for 100 consecutive measurement packets. For the distance from 20 cm to 50 cm at the interval of 5 cm, 100 measurement packets were obtained and totally 700 measurement packets were evaluated for the PSK modulated signals. In this study, units of distance and charging time as shown in Table 1 are centimeter (cm) and second (s), respectively.

Table 1 indicates the charging times according to the distances for 6.1 dBi antenna gain at 14 dBm output power level. The shortest charging time was evaluated as 7.97 s at a distance of 20 cm.

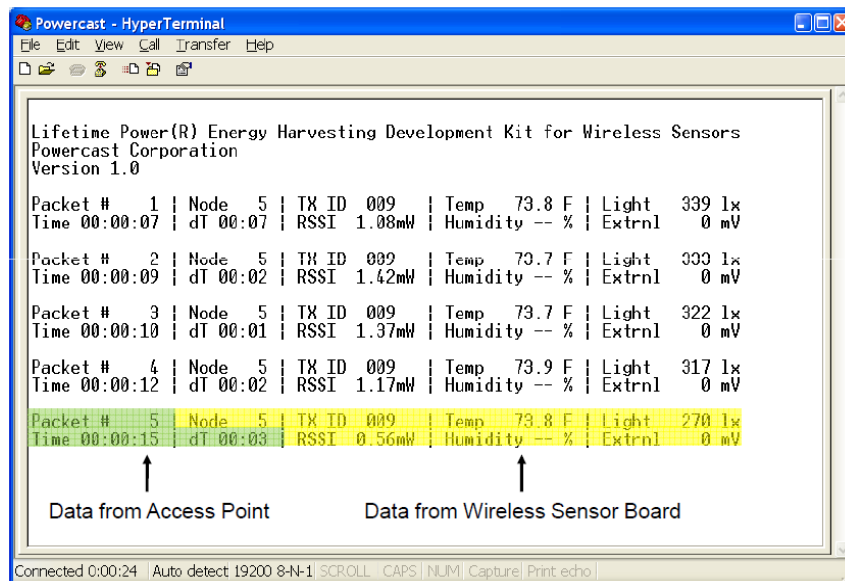


Figure 2. Collection of measurement data via HyperTerminal [27]

Besides, the longest charging time was calculated as 48.88 s at a distance of 50 cm for the PSK modulated signals.

As seen in Fig. 3, the charging times for the PSK modulated signals across the distances were depicted on the graph in order to illustrate the measurement values more obviously. As the distance decreases, the charging time of the RF energy harvesting circuit also reduces. Considering the distances from 20 cm to 50 cm, the best charging time (the shortest charging time) was measured at a distance of 20 cm and the worst charging time (the longest charging time) was measured at a distance of 50 cm for the PSK modulated signals.

Table 1: Charging time versus distance for PSK

Distance (cm)	PSK (s)
20	7.97
25	13.14
30	17.23
35	19.46
40	27.33
45	32.15
50	48.88

Conclusions

In this study, a measurement system was established to receive and record the charging times of the RF energy harvesting circuit for the PSK modulated signals. The measurement system included USRP-2900 as a signal generator, P2110 Powerharvester module as an RF energy harvesting circuit, WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board, Microchip 16-bit XLP Development Board, PICtail Daughter Card, and PCB Patch antennas.

Charging times of the RF energy harvesting circuit for the PSK modulated signals were measured at the distances from 20 cm to 50 cm at the interval of 5 cm. Then, the measurement packets were investigated in detail. Considering the measured values, the shortest charging time was obtained as 7.97 s at a distance of 20 cm and the longest charging time was evaluated as 48.88 s at a distance of 50 cm for the PSK modulated signals.

As a consequence, it was determined that the charging time increased while the distance between signal generator and RF energy harvesting circuit increased.

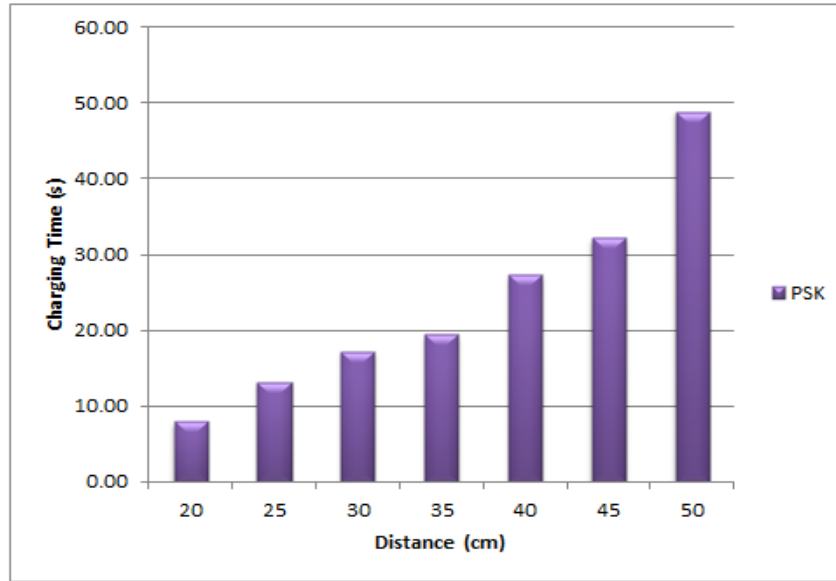


Figure 3. Charging times of RF energy harvesting circuit versus distances for PSK modulated signals

Acknowledgments: The author would like to thank Güneş KARABULUT KURT and Wireless Communication Research Laboratory team of Istanbul Technical University for providing equipment support.

References

- [1] D. Altinel and G. K. Kurt, "Modeling of Hybrid Energy Harvesting Communication Systems," *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. 3, no. 2, pp. 523–534, Jun. 2019.
- [2] S. Kim et al., "Ambient RF Energy-Harvesting Technologies for Self-Sustainable Standalone Wireless Sensor Platforms," *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 11, pp. 1649–1666, Nov. 2014.
- [3] M. Cansiz, T. Abbasov, M. B. Kurt, and A. R. Celik, "Mobile measurement of radiofrequency electromagnetic field exposure level and statistical analysis," *Measurement*, vol. 86, pp. 159–164, May 2016.
- [4] N. Barroca et al., "Antennas and circuits for ambient RF energy harvesting in wireless body area networks," in *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2013, pp. 532–537.
- [5] M. Cansiz and M. B. Kurt, "Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.*, vol. 3, no. 2, pp. 101–110, 2012.
- [6] P. Baltrėnas and R. Buckus, "Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas," *Measurement*, vol. 46, no. 10, pp. 3942–3949, Dec. 2013.
- [7] M. Cansiz, T. Abbasov, M. B. Kurt, and A. R. Celik, "Mapping of radio frequency electromagnetic field exposure levels in outdoor environment and comparing with reference levels for general public health," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 28, no. 2, pp. 161–165, Nov. 2016.
- [8] M. Pinuela, P. D. Mitcheson, and S. Lucyszyn, "Ambient RF Energy Harvesting in Urban and Semi-Urban Environments," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 61, no. 7, pp. 2715–2726, Jul. 2013.
- [9] M. Cansiz, "Diyarbakır il merkezinin elektromanyetik alan haritasının çıkarılması ve durum değerlendirilmesi," *Dicle Üniversitesi*, 2010.

- [10] F. T. Pachón-García, K. Fernández-Ortiz, and J. M. Paniagua-Sánchez, "Assessment of Wi-Fi radiation in indoor environments characterizing the time & space-varying electromagnetic fields," *Measurement*, vol. 63, pp. 309–321, Mar. 2015.
- [11] Hucheng Sun, Yong-xin Guo, Miao He, and Zheng Zhong, "Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 929–932, 2012.
- [12] A. Collado and A. Georgiadis, "Conformal Hybrid Solar and Electromagnetic (EM) Energy Harvesting Rectenna," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 60, no. 8, pp. 2225–2234, Aug. 2013.
- [13] S. Keyrouz, H. Visser, and A. Tijhuis, "Multi-band simultaneous radio frequency energy harvesting," *Antennas Propag.*, no. Eucap, pp. 3058–3061, 2013.
- [14] V. Kuhn, C. Lahuec, F. Seguin, and C. Person, "A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester With RF-to-DC Efficiency Up to 84%," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 5, pp. 1768–1778, May 2015.
- [15] V. Marian, B. Allard, C. Vollaie, and J. Verdier, "Strategy for Microwave Energy Harvesting From Ambient Field or a Feeding Source," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 11, pp. 4481–4491, Nov. 2012.
- [16] A. Collado and A. Georgiadis, "Optimal Waveforms for Efficient Wireless Power Transmission," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 24, no. 5, pp. 354–356, May 2014.
- [17] M. S. Trotter, J. D. Griffin, and G. D. Durgin, "Power-optimized waveforms for improving the range and reliability of RFID systems," in 2009 IEEE International Conference on RFID, 2009, pp. 80–87.
- [18] J. F. Ensworth, S. J. Thomas, S. Y. Shin, and M. S. Reynolds, "Waveform-aware ambient RF energy harvesting," in 2014 IEEE International Conference on RFID (IEEE RFID), 2014, pp. 67–73.
- [19] A. Collado and A. Georgiadis, "Improving wireless power transmission efficiency using chaotic waveforms," in 2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2012, pp. 1–3.
- [20] G. Andia Vera, D. Allane, A. Georgiadis, A. Collado, Y. Duroc, and S. Tedjini, "Cooperative Integration of Harvesting RF Sections for Passive RFID Communication," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 12, pp. 4556–4566, Dec. 2015.
- [21] A. Boaventura, A. Collado, N. B. Carvalho, and A. Georgiadis, "Optimum behavior: Wireless power transmission system design through behavioral models and efficient synthesis techniques," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 14, no. 2, pp. 26–35, Mar. 2013.
- [22] D. Altinel and G. K. Kurt, "Finite-State Markov Channel Based Modeling of RF Energy Harvesting Systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 2, pp. 1713–1725, Feb. 2018.
- [23] D. Altinel and G. K. Kurt, "Statistical models for battery recharging time in RF energy harvesting systems," in 2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014, pp. 636–641.
- [24] H. Sakaki et al., "Analysis of Rectifier RF-DC Power Conversion Behavior with QPSK and 16QAM Input Signals for WiCoPT System," 2014 Asia-Pacific Microw. Conf., pp. 7–9.
- [25] D. Altinel and G. Karabulut Kurt, "Energy Harvesting From Multiple RF Sources in Wireless Fading Channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 11, pp. 8854–8864, Nov. 2016.

[26] National Instruments,
“<https://www.ni.com/en-us.html>”

[28] Microchip Technology,
“<https://www.microchip.com>”

[27] Powercast Corporation,
“<https://www.powercastco.com/>”

Keyfi Şekilli Silindirlere Gömülü Dielektrik Cisimlerin Etkin Bir Mikrodalga Ters Saçılma Yaklaşımı ile Görüntülenmesi

Imaging of Dielectric Objects Embedded in Arbitrary Shaped Cylinders through an Effective Microwave Inverse Scattering Approach

Tolga Ulaş Gürbüz*

Gaziantep Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, tugurbuz@gantep.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7834-0692

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 26 Aralık 2019
Düzeltilme: 21 Şubat 2020
Kabul: 26 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

Elektromagnetik ters saçılma,
Kontrast Kaynak Yöntemi, Bessel
fonksiyonları

ÖZET

Bu çalışmada, elektriksel ve geometrik özellikleri bilinen keyfi şekilli silindirik cisimlere gömülü dielektrik saçıcıların görüntülenmesi için etkin bir mikrodalga ters saçılma yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım, iteratif bir nonlineer inversiyon yöntemi olan Kontrast Kaynak (CSI) yönteminin kullanılmasına dayanmaktadır. Ancak, ele alınan problemde, CSI'yi farklı problemlerde yaygın olarak yapıldığı gibi arka planı boş uzay varsayarak uygulamak, silindirik yapının önceden bilinen özelliklerinin iteratif prosesin ilk tahmini olarak seçilmesi durumunda bile, çoğu kez tatmin edici olmayan sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, elektriksel ve geometrik özellikleri bilinen silindirik yapı arka plan olarak tanımlanmış ve gömülü cisme ilişkin ters saçılma problemi CSI uygulanarak çözülmüştür. Böylesi bir yaklaşım CSI'nin performansını önemli oranda iyileştirse de, arka plan alanının, yani gömülü cismin bulunmadığı durumdaki toplam elektrik alanının, ve arka plana ilişkin Green fonksiyonunun sayısal olarak elde edilmesini gerektirmektedir. Ortaya çıkacak ilave hesaplama maliyetini azaltmak amacıyla, daha önce önerdiğimiz, elektrik alanın silindirik fonksiyonların serisi olarak ifade edilmesine ve yüzeylerdeki süreklilik ilişkilerine dayanan düz saçılma yaklaşımı mevcut probleme uyarlanmıştır. Ayrıca, homojen saçıcılar için, kontrast fonksiyonunun iki değer alan bir fonksiyon olarak ifade edildiği bir ikili görüntüleme yaklaşımı uyarlanarak CSI'nin ele alınan problemin çözümünde daha etkin bir biçimde kullanılması sağlanmıştır. Önerilen yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilen sayısal simülasyonlarda tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.665562

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 December 2019
Revised: 21 February 2020
Accepted: 26 February 2020

Keywords:

Inverse electromagnetic
scattering, Contrast Source
Inversion, Bessel functions

ABSTRACT

In this study, an effective microwave inverse scattering approach for imaging of dielectric scatterers embedded in arbitrary shaped cylindrical objects with known electrical and geometric properties is proposed. This approach is based on the use of the Contrast Source Inversion (CSI), which is an iterative nonlinear inversion method. However, applying CSI by considering that the background is free space, as is commonly done in various problems, often yields unsatisfactory results for the problem at hand, even if priorly known properties of the cylindrical structure are used as the first estimate of the iterative process. Therefore, the cylindrical structure having known electrical and geometric properties is considered as the background and the inverse scattering problem related to the embedded object is solved by applying CSI. Although such an approach considerably improves the performance of CSI, it requires numerical computation of the background field, i.e. the total electric field in the absence of the embedded object, and the Green's function of the background. In order to reduce the additional computational cost, previously proposed forward scattering approach, which is based on representation of the electric field as a series of cylindrical functions and the continuity relations on the boundaries, is adapted to the problem at hand. Additionally, for homogeneous scatterers, an effective binary imaging algorithm, in which the contrast function is expressed as a two-valued function, has been adapted. Satisfactory results have been obtained in numerical simulations performed by using the proposed approach.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Tolga Ulaş GÜRBÜZ

✉ tugurbuz@gantep.edu.tr

Giriş

Şekli ve elektriksel özellikleri bilinen bir cismin içerisine gömülü saçıcıların görüntülenmesi problemi, biyomedikal görüntüleme, tahribatsız muayene, jeofizik gibi farklı alanlarda sıkça karşılaşılabilen bir problemdir. Literatürde bu problemin çözümü amacıyla mikrodalgaların kullanıldığı pek çok çalışma mevcut olup [1-5], bu çalışmaların bir kısmında mikrodalga tomografisi yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım, görüntülenmek istenen bölgenin belirli sayıda mikrodalga kaynağı ile ayrı ayrı aydınlatılması ve her aydınlatma için, saçılan alanın belirli sayıda alıcı aracılığıyla ölçülmesine dayanır. Toplanan bu veri farklı inversiyon yöntemlerinde kullanılarak, görüntülenmek istenen bölgedeki malzemelerin geometrik ve/veya elektriksel özellikleri elde edilmeye çalışılır [6].

Mikrodalga tomografisi kullanılarak yapılan çalışmaların bir kısmında gömülü saçıcıları barındıran cisimler keyfi şekillidir [3-5]. Biz bu çalışmada, bu tür problemler için tatmin edici doğrulukta sonuçların makul bir hesaplama süresi içerisinde elde edilmesini sağlayacak bir yaklaşım öneriyoruz. Bu yaklaşımla, iteratif bir doğrusal olmayan inversiyon yöntemi olan Kontrast Kaynak (CSI) [7,8] yönteminin, keyfi şekilli cisimlere gömülü saçıcıların görüntülenmesi probleminin çözümünde etkin biçimde kullanılabilmesi sağlanmaktadır. Genel anlamda CSI, görüntüleme problemini, bilinen bir uzayda bulunan bir cismin elektriksel parametrelerinin, veri ve cisim denklemi adı verilen iki integral denklem aracılığıyla belirlenmesi şeklinde ele alır. Kötü kurulmuş [9] ve doğrusal olmayan bu problemin çözümü için, sadece veri hatasını değil cismin üzerinde indüklenen akıma ilişkin hatayı da içeren bir hata fonksiyonu iteratif olarak minimize edilir. CSI kullanılarak, problemin doğasındaki nonlineerlik ihmal edilmeden ve her iterasyon adımında düz problemin çözümüne ihtiyaç duyulmadan, tatmin edici sonuçlar elde etmek mümkündür. Ancak, bu çalışmanın konusunu oluşturan problemde, CSI'yi farklı problemlerde yaygın olarak yapıldığı gibi arka planı boş uzay varsayarak uygulamak, silindirik yapının önceden bilinen özelliklerinin iteratif prosesin ilk tahmini olarak kullanılması durumunda bile, çoğu kez tatmin edici olmayan sonuçlar

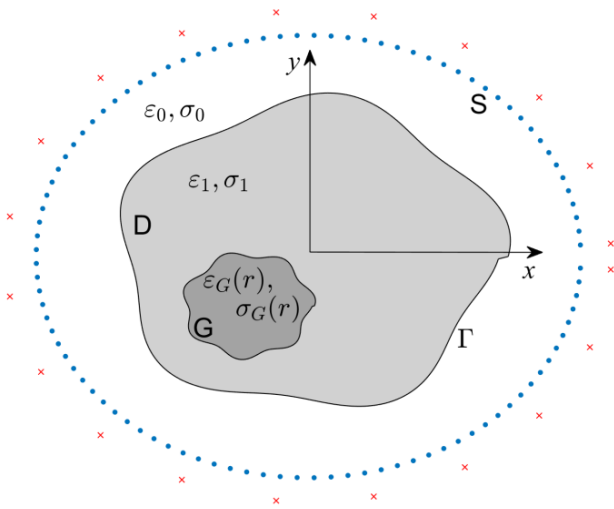
vermektedir. Farklı çalışmalar, şekli ve elektriksel özellikleri bilinen yapıyı arka plan olarak tanımlamanın ve problemi buna göre formüle ederek, gömülü cismin elektriksel özelliklerinin bu arka planın elektriksel özelliklerine göre kontrastını görüntülemeye çalışmanın çok daha etkili bir yaklaşım olduğunu ortaya koymuştur [3]. Ancak böylesi bir yaklaşım, arka plan alanının, yani gömülü cismin bulunmadığı durumdaki toplam elektrik alanının, ve arka plana ilişkin Green fonksiyonunun sayısal olarak elde edilmesini gerektirmektedir. Bu aşamada ortaya çıkacak ilave hesaplama süresini azaltmak için ise, daha önce [10]'da verdiğimiz, elektrik alanın silindirik fonksiyonların serisi olarak ifade edilmesine ve yüzeylerdeki süreklilik ilişkilerine dayanan düz saçılma çözümünün mevcut probleme uyarlanmasını öneriyoruz. Bunlara ek olarak, gömülü saçıcının, elektriksel özellikleri bilinen homojen bir cisim olduğu özel durumda, [11]'de farklı bir gradyan tabanlı inversiyon yönteminde kullanılmış olan ve kontrast fonksiyonun iki değer alan bir fonksiyon olarak ifade edilmesine dayanan ikili görüntüleme yaklaşımı uyarlanarak CSI'nin ele alınan problemin çözümünde daha etkin bir biçimde kullanılması sağlanabilir.

Yukarıda özetlediğimiz yaklaşımın ayrıntıları ve simülasyonlarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir. Bu çalışmanın tamamında zamana bağlı değişimin $e^{-i\omega t}$ şeklinde olduğu varsayılmıştır ve sadelik amacıyla, bu ifade denklemlerde gösterilmemiştir.

Problemin Formülasyonu

Şekil 1'de, z eksenini boyunca şekli ve malzeme özellikleri değişmeyen ve xy düzlemi üzerinde D bölgesini kaplayan silindirik bir cisim görülmektedir. Cismin içerisinde, malzeme özellikleri ve xy düzlemi üzerinde kapladığı G bölgesi bilinmeyen bir başka saçıcı bulunmaktadır. Büyük cismin dielektrik geçirgenliği ve elektrik iletkenliği sırası ile ϵ_1 ve σ_1 iken gömülü saçıcı için bu parametreler, $\mathbf{r} = (\rho, \phi)$ kutupsal koordinatlarda konum vektörü olmak üzere, $\epsilon_G(\mathbf{r})$ ve $\sigma_G(\mathbf{r})$ 'dir. Bütün malzemeler nonmagnetiktir, yani magnetik geçirgenlik katsayıları boşluğun magnetik geçirgenlik katsayısı olan μ_0 'a eşittir. Büyük cismin yüzeyi Γ ile gösterilmiş olup, bu yüzeyin

bilindiği ve f tek-değerli bir fonksiyon olmak üzere, kutupsal koordinatlarda $\rho = f(\phi)$, $\phi \in [0, 2\pi)$, şeklinde ifade edilebildiği varsayılmaktadır. Gömülü cismin elektriksel ve geometrik özelliklerini belirlemek amacıyla, büyük cismi içine alan bir eğri üzerine dağıtılmış mikrodalga kaynaklar kullanılır; bu kaynaklar Şekil 1’de kırmızı renkli çarpı işaretleri ile temsil edilmektedir. Bu kaynaklarla yapılan her aydınlatma için, gelen elektromagnetik dalganın cisimler ile etkileşiminin ürünü olan elektrik alan vektörü cismin etrafındaki S bölgesine dağılmış noktalarda ölçülür.



Şekil 1. Problemin geometrisi

Bu çalışmada, kaynakların zamanda harmonik alanlar ürettiği ve herhangi bir j 'inci kaynak için gelen elektrik alan vektörünün, e_z vektörü z yönündeki birim vector olmak üzere, $E_j^i(\mathbf{r}) = u_j^i(\mathbf{r})\mathbf{e}_z$ şeklinde olduğu varsayılmıştır. Bu durumda problem, iki boyutlu skaler bir probleme dönüşür ve j 'inci aydınlatma için herhangi bir noktadaki toplam elektrik alan vektörünü ifade eden $\mathbf{E}_j(\mathbf{r}) = u_j(\mathbf{r})\mathbf{e}_z$ yerine $u_j(\mathbf{r})$ alan fonksiyonu ele alınabilir. Bu alanı $u_j(\mathbf{r}) = u_j^B(\mathbf{r}) + u_j^S(\mathbf{r})$ şeklinde iki alanının toplamı olarak düşünebiliriz. Burada $u_j^B(\mathbf{r})$ arka plan alanını yani gömülü cismin bulunmadığı durumdaki toplam alanı, $u_j^S(\mathbf{r})$ ise gömülü cisimden saçılan alanı ifade etmektedir. Gömülü cisimden saçılma problemini tanımlayan iki integral denklem “cisim” ve “veri” denklemleri olarak adlandırılır ve şu şekilde yazılır:

$$u_j(\mathbf{r}) = \iint_D G_B(\mathbf{r}; \mathbf{r}') k_B^2(\mathbf{r}') \chi(\mathbf{r}') u_j(\mathbf{r}') d\mathbf{r}' + u_j^B(\mathbf{r}), \quad \mathbf{r} \in D, \quad (1)$$

$$u_j^S(\mathbf{r}) = \iint_D G_B(\mathbf{r}; \mathbf{r}') k_B^2(\mathbf{r}') \chi(\mathbf{r}') u_j(\mathbf{r}') d\mathbf{r}', \quad \mathbf{r} \in S. \quad (2)$$

Burada G_B , şekli ve elektriksel özellikleri bilinen büyük cisim ile boş uzayın birleşiminden oluşan arka plana ilişkin Green fonksiyonunu, χ ise gömülü cismin arka plandan farkını ifade eden kontrast fonksiyonunu temsil etmektedir. Kontrast fonksiyonun açık ifadesi $\chi(\mathbf{r}) = k^2(\mathbf{r})/k_B^2(\mathbf{r}) - 1$ şeklindedir. Gömülü cismin mevcut olmadığı ve olduğu durumlar için dalga sayılarının karelerini temsil eden k_B^2 ve k^2 herhangi bir noktada

$$k_B^2(\mathbf{r}) = \begin{cases} \omega^2 \varepsilon_1 \mu_0 + i\omega \sigma_1 \mu_0, & \mathbf{r} \in D \\ \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 + i\omega \sigma_0 \mu_0, & \mathbf{r} \notin D \end{cases} \quad (3)$$

ve

$$k^2(\mathbf{r}) = \begin{cases} \omega^2 \varepsilon_G(\mathbf{r}) \mu_0 + i\omega \sigma_G(\mathbf{r}) \mu_0, & \mathbf{r} \in G \\ k_B^2(\mathbf{r}), & \mathbf{r} \notin G \end{cases} \quad (4)$$

eşitlikleri ile tanımlanır. Denklem (1)'de ihtiyaç duyulan arka plan alanı u_j^B , [10]'da verilen düz saçılma yaklaşımı ile görece basit ve hızlı bir şekilde elde edilebilir. Bu yaklaşım doğrultusunda, gömülü cismin olmadığı durumdaki toplam alanın ve ρ 'ya göre türevinin Γ üzerinde sağlayacağı süreklilik ilişkileri

$$u_j^{B(0)} = u_j^{B(1)} \quad (5)$$

ve

$$\frac{\partial u_j^{B(0)}}{\partial \rho} = \frac{\partial u_j^{B(1)}}{\partial \rho} \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Esas itibariyle alanların yüzey normali yönündeki türevleri sürekli olmakla birlikte, mevcut problem için, daha basit ifadeler olan ρ 'ya göre türevlerin de sürekli olduğu [10]'da gösterilmiştir. Burada $u_j^{B(0)}$, D bölgesinin dışında kalan bölgedeki alanı, $u_j^{B(1)}$ ise D bölgesindeki alanı temsil etmektedir. Bu

alanlar, N yeterince büyük seçilmek şartıyla, $m = 0$ ve $m = 1$ için ayrı ayrı,

$$u_j^{B(m)}(\mathbf{r}) \cong \sum_{n=-N}^N \left(a_n^{(m)} J_n(k_m \rho) + b_n^{(m)} H_n^{(1)}(k_m \rho) \right) e^{in\phi} \quad (7)$$

şeklinde silindirik fonksiyonların serisi olarak yazılabilir. Burada J_n ve $H_n^{(1)}$, n 'inci mertebeden Bessel ve birinci tür Hankel fonksiyonlarını ifade etmektedir. Buna göre, u_j^B 'nin herhangi bir noktadaki değerinin hesaplanabilmesi için $a_n^{(0)}$, $b_n^{(0)}$ ve $a_n^{(1)}$, $b_n^{(1)}$ katsayılarının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, Γ üzerindeki süreklilik ilişkilerinde kullanılmak üzere, elektrik alanının ρ 'ya göre türevi de, $m = 0$ ve $m = 1$ için ayrı ayrı,

$$\frac{\partial u_j^{B(m)}(\mathbf{r})}{\partial \rho} \cong \sum_{n=-N}^N \left(a_n^{(m)} \frac{\partial J_n(k_m \rho)}{\partial \rho} + b_n^{(m)} \frac{\partial H_n^{(1)}(k_m \rho)}{\partial \rho} \right) e^{in\phi} \quad (8)$$

şeklinde birer seri ile ifade edilir. Buradaki silindirik fonksiyonların (J_n ve $H_n^{(1)}$ 'in) ρ 'ya göre türevleri, analitik yöntemlerle hesaplanabilir türevlerdir ve açık ifadeleri [12]'de mevcuttur. Bilinmeyen katsayıların elde edilmesi için önerilen yaklaşım daha önce [10]'da kapsamlı olarak verildiğinden, yöntemin ayrıntıları bu çalışmada tekrarlanmayacaktır. Özetle, denklem (7) ve (8), denklem (5) ve (6)'daki süreklilik koşullarında yerine yazılır. Bütün silindirik fonksiyonlar ve normal türevleri birer Fourier serisi olarak ifade edilir. Ardından, her iki denklem de [10]'da tanımlandığı şekilde $e^{-ip\phi}$, $p = -N, \dots, N$ kompleks üstel fonksiyonlarıyla çarpılarak ve ortogonalite özelliği kullanılarak, $a_n^{(0)}$, $b_n^{(0)}$ ve $a_n^{(1)}$, $b_n^{(1)}$ katsayıları için kolaylıkla çözülebilir boyutlarda bir lineer sistem elde edilir. Arka plan Green fonksiyonu $G_B(\mathbf{r}; \mathbf{r}')$, gömülü cisim mevcut değilken \mathbf{r}' noktasındaki çizgisel kaynağın \mathbf{r} noktasında oluşturacağı toplam alanı ifade ettiği için, aynı yaklaşımın [13]'de verildiği şekilde uyarlanmasıyla hesaplanabilir.

Arka plan alanı ve Green fonksiyonunun hesaplanmasının ardından, Kontrast Kaynak (CSI) [7, 8] yöntemi kullanılarak kontrast $\chi(\mathbf{r})$ elde edilebilir. Denklem (1) and (2), operatörler aracılığıyla $u_j = u_j^B + G^D w_j$ ve $u_j^S = G^S w_j$ şeklinde daha sade ifadelerle gösterilebilir. Burada G^D ve G^S denklem (1) ve (2)'deki integral operatörleri, w_j ise j 'inci aydınlatma için $w_j = \chi u_j$ şeklinde tanımlanan "kontrast kaynağı" temsil etmektedir. Bu denklemlerden χ 'nin elde edilmesi problemi kötü kurulmuş [9] ve doğrusal olmayan bir problemdir. CSI yöntemi bu problemi, cisim ve veri denklemlerine ilişkin hataların toplamlarının iteratif olarak minimize edilmesi olarak ele alır. Buna göre,

$$F_S = \frac{\sum_j \|u_j^S - G^S w_j\|_S^2}{\sum_j \|u_j^S\|_S^2}, \quad F_D = \frac{\sum_j \|\chi u_j - w_j\|_D^2}{\sum_j \|\chi u_j^B\|_D^2} \quad (9)$$

olmak üzere, $F = F_S + F_D$ şeklinde bir hata fonksiyonu tanımlanır. Denklem (9)'daki $\|\cdot\|_S^2$ ve $\|\cdot\|_D^2$, sırasıyla S ve D bölgelerindeki ℓ_2 -normu ifade etmektedir. Hata fonksiyonu F 'yi minimize etmek için kontrast kaynakları w_j ve kontrast χ sırayla güncellenir. İterasyonların j 'inci adımında w_j , hata fonksiyonu F 'nin tamamını minimize etmek üzere

$$w_j^{(n)} = w_j^{(n-1)} + \alpha_j^{w(n)} v_j^{w(n)} \quad (10)$$

şeklinde güncellenir. Burada v_j^w , konjuge gradyan güncelleme yönünü ve α_j^w bu yöndeki adım boyutunu ifade etmektedir. Kontrast kaynağın güncellenmesinin ardından kontrast da F_D 'yi minimize etmek üzere

$$\chi^{(n)} = \chi^{(n-1)} + \alpha^{(n)} v^{(n)} \quad (11)$$

şeklinde güncellenir. Kontrastın güncellenmesinde konjuge gradyan güncelleme yönü v_j^x belirlenirken, F_D 'nin χ 'ye göre gradyanı kullanılır. Denklem (10) ve (11)'deki güncelleme yönlerinin (v_j^w ve v_j^x) ve bu yönlerdeki adım boyutlarının (α_j^w ve α_j^x) açık ifadeleri, başlangıç tahminleri $w_j^{(0)}$ ve $\chi^{(0)}$ ile birlikte [8]'de verilmiştir. Hata fonksiyonu F belirli bir değere yakınsayana veya önceden belirlenen bir iterasyon sayısına ulaşılan kadar w_j ve χ 'nin güncellenmesi sürdürülür. İterasyonların sonucunda ulaşılan kontrast $\chi(\mathbf{r})$

aracılığıyla, gömülü cismin elektriksel özelliklerinin dağılımı, yani $\varepsilon_G(\mathbf{r})$ ve $\sigma_G(\mathbf{r})$, belirlenir.

Gömülü saçıcının, elektriksel özellikleri bilinen homojen bir cisim olduğu, fakat cismin konumunun ve şeklinin bilinmediği özel durum için, daha önce [11]'de modifiye edilmiş gradyan yönteminde kullanılmak üzere önerilmiş olan yaklaşım CSI'da kullanılabilir. Buna göre, kontrast fonksiyonunun reel ve imajiner kısımlarını

$$\chi_t(\mathbf{r}) = \chi_{obj,t} \Psi\left(\frac{\xi(\mathbf{r})}{\theta}\right) \quad t = 1,2 \quad (12)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada $t = 1$ kontrastın reel kısmını, $t = 2$ ise kontrastın imajiner kısmını belirtmek için kullanılmıştır. $\chi_{obj,1}$ ve $\chi_{obj,2}$, gömülü cismin bulunduğu noktalarda kontrastın reel ve imajiner kısımlarının alacağı değerleri göstermekte olup, bilinen ε_G ve σ_G kullanılarak hesaplanırlar. Cismin bilinmeyen uzaysal dağılımı ise $\xi(\mathbf{r})$ ile belirlenmektedir. Gerçek değerli Ψ fonksiyonu $\Psi(x) = 1/(1 + e^{-x})$ şeklinde tanımlanmış olup, reel argüman x 'in $-\infty$ ve ∞ arasındaki değerleri için 0 ve 1 arasında değerler almaktadır. Bir reel parametre olan θ 'nın seçimi için teorik bir yöntem önerilmemiştir ve uygun değer ampirik olarak tespit edilebilir. Bu durumda, w_j 'nin (10)'da belirtildiği şekilde güncellenmesinin ardından, χ 'nin (11)'deki gibi güncellenmesinin yerine, cismin konumunun ve şeklinin belirlenmesi amacıyla ξ 'nin

$$\xi^{(n)} = \xi^{(n-1)} + \alpha \xi^{(n)} v^{\xi^{(n)}} \quad (13)$$

şeklinde güncellenmesi yeterli olacaktır. Güncelleme yönünü,

$$g_t^{\xi^{(n)}} = \frac{\chi_{obj,t}}{\theta} \exp\left(\frac{\xi^{(n-1)}}{\theta}\right) \left[\Psi\left(\frac{\xi(\mathbf{r})}{\theta}\right)\right]^2 g_t^{\chi^{(n)}} \quad t = 1,2 \quad (14)$$

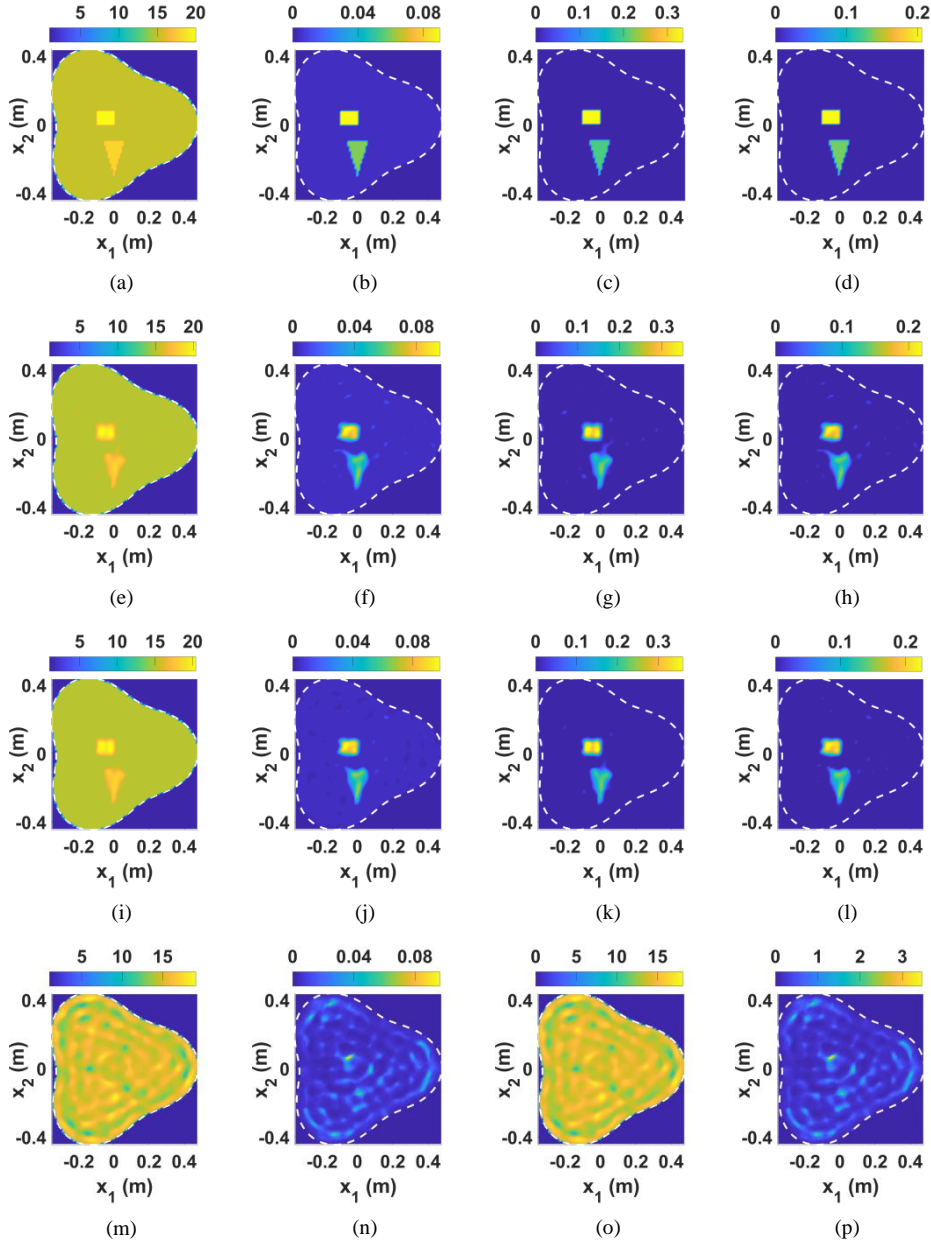
olmak üzere,

$$v^{\xi^{(n)}} = \frac{g_1^{\xi^{(n)}} + g_2^{\xi^{(n)}}}{2} \quad (15)$$

şeklinde seçebiliriz. Denklem (14)'de yer alan $g_t^{\chi^{(n)}}$, $t = 1,2$, F_D 'nin χ_1 ve χ_2 'ye göre gradyanlarının $(n-1)$ 'inci iterasyon adımında hesaplanan değerlerini göstermektedir. Denklem (13)'teki adım boyutu $\alpha \xi^{(n)}$ bir çizgi arama yöntemi [14] ile belirlenebilir.

Sayısal Uygulamalar

Önerilen yaklaşımı test etmek amacıyla, 2.7 GHz Intel Core i7 işlemciye ve 12 GB ana belleğe sahip bir PC kullanılarak, farklı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki örneklerde, içerisinde gömülü cisimler bulunan silindirik yapı, 7 cm yarıçaplı bir çember üzerinde eşit aralıklarla yerleştirilmiş 20 adet çizgisel kaynak ile 500 MHz frekansında ayrı ayrı aydınlatılmıştır. Her aydınlatma için toplam alan u_j , 6 cm yarıçaplı bir çember üzerinde eşit aralıklarla yerleştirilmiş 100 adet noktada Momentler Metodu (MoM) kullanılarak, aynı noktalardaki arka plan alanı u_j^B ise denklem (7) ve (8)'deki seri gösterimi için $N = 20$ seçilerek bu çalışmada önerilen yaklaşımla üretilmiştir. Bu iki alanın farkı alınarak u_j^S hesaplanmış ve $0.1|u_j^S|e^{i\pi\gamma}$ şeklinde bir gürültü terimi eklenerek inversiyon verisi elde edilmiştir. Burada γ , 0 ve 1 arasında uniform dağılıma sahip bir rastgele değişkendir. CSI yöntemi ile inversiyon gerçekleştirilirken, w_j için başlangıç tahmini, $w_j^{(0)}$, [7]'de "geri yayılım" ile elde edilen ifade kullanılarak hesaplanmıştır ve iterasyonlar, hata fonksiyonu F 'nin ardışık iki iterasyonda hesaplanan değerleri arasındaki fark 10^{-7} 'den küçük olduğunda veya maksimum iterasyon sayısı olan 1000'e ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Birinci örnekte, Şekil 2(a)-(b)'de gösterildiği gibi, dielektrik geçirgenliği ve elektrik iletkenliği sırası ile $\varepsilon_1 = 15\varepsilon_0$ ve $\sigma_1 = 0,003$ (S/m) olan keyfi şekilli silindirik yapının içine $\varepsilon_{G,1} = 20\varepsilon_0$ ve $\sigma_{G,1} = 0,09$ (S/m) parametrelerine sahip dikdörtgen bir cisim ve $\varepsilon_{G,1} = 18\varepsilon_0$ ve $\sigma_{G,1} = 0,06$ (S/m) parametrelerine sahip üçgen bir cisim yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Gömülü cisimlerin ve özellikleri bilinen silindirik yapının (a)bağlı dielektrik geçirgenlik ve (b)iletkenlik dağılımları; silindirik yapının arka plan olarak kabul edilmesi durumunda hesaplanan kontrastın (c) reel ve (d) imajiner kısımları. (e)-(h)Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar. (i)-(l)Silindirik yapının arka plan olarak kabul edildiği ancak bu arka plana ilişkin alanın ve Green fonksiyonunun MoM ile hesaplandığı durumda elde edilen sonuçlar.(m)-(p) Boş uzayın arka plan olarak kabul edildiği ve silindirik yapının bilinen özelliklerinin başlangıç tahmini olarak kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar.

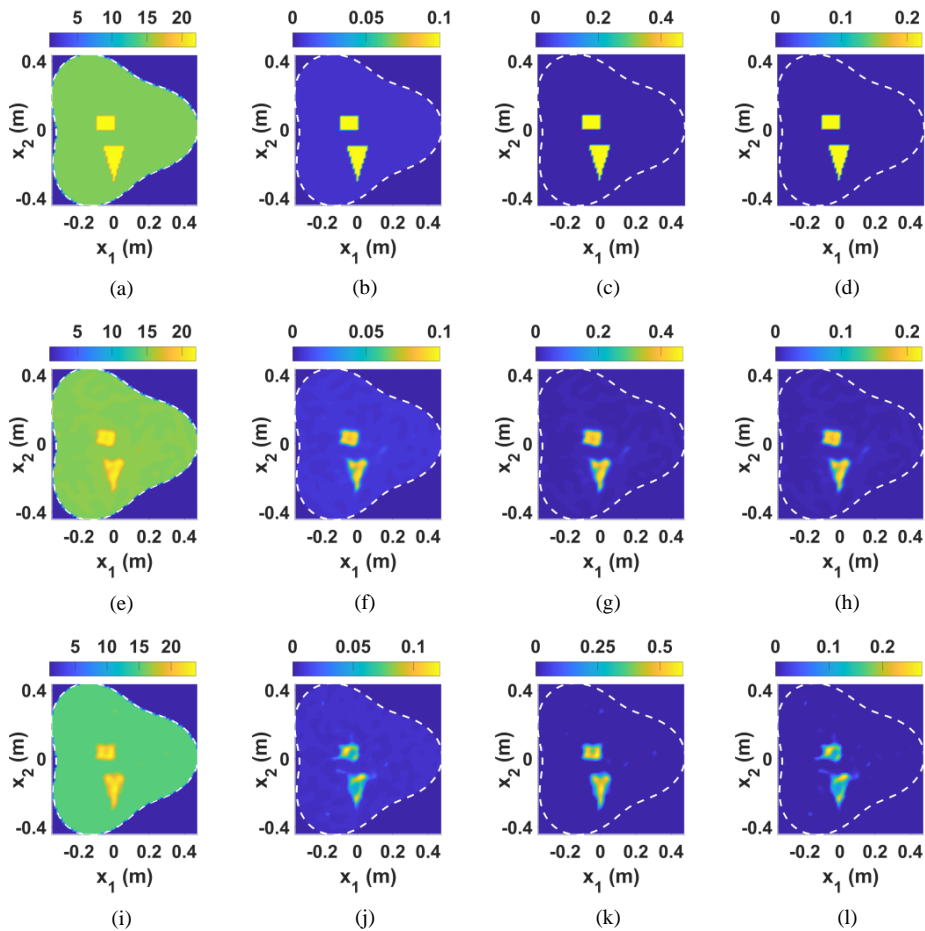
Bu çalışmada önerilen yaklaşım, gömülü cisimlerin bulunmadığı, onların yerinde elektriksel özellikleri ϵ_1 ve σ_1 olan malzemenin bulunduğu durumdaki dağılımın arka plan olarak tanımlanmasına dayanmaktadır. Bu nedenle, gömülü cisimlerin böylesi bir arka plana göre kontrastlarının reel ve imajiner

kısımları hesaplanarak Şekil 2(c)-(d)'de gösterilmiştir. Bütün şekillerde, gömülü cismin içinde bulunduğu silindirik yapının sınırını göstermek için beyaz kesikli çizgiler kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım kullanılarak oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmış olup, CSI ile elde edilen kontrastın reel ve imajiner

kısımları Şekil 2(g)-(h)'de ve bu kontrast değerlerine karşılık gelen dielektrik geçirgenlik ve iletkenlik dağılımları ise Şekil 2(e)-(f)'de verilmiştir. Gömülü cismin içinde yer aldığı silindirik yapının arka plan olarak tanımlanması yaklaşımı korunarak, arka plan alanı u_j^B ve Green fonksiyonu G_B 'nin geleneksel sayısal yöntemler, örneğin MoM, ile elde edilmesi de mümkündür. Böylesi bir yaklaşım, MoM kullanılarak, bu örnek için test edilmiştir. Şekil 2(g)-(j)'de görüldüğü gibi Şekil 2(c)-(f)'dekilere çok benzeyen sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, bu sonuçlar elde edilirken kullanılan u_j^B ve G_B 'nin hesaplanması için ihtiyaç duyulan süre, önerilen yaklaşım ile 16 sn iken, MoM ile 71 sn'ye çıkmıştır. Gömülü cismin içinde bulunduğu silindirik yapının arka plan olarak

tanımlanması yerine, boş uzayın arka plan olarak kabul edildiği ve bu yapının bilinen elektriksel özelliklerinin CSI'da başlangıç tahmini olarak kullanıldığı bir yaklaşım da önerilebilir. Ancak bu yaklaşımın, bazı problemlerde tatmin edici sonuçlar verebilse de, bu örnekte gerçek durumdan çok uzak sonuçlar verdiği Şekil 2(m)-(p)'de görülmektedir.

Gömülü saçıcının, elektriksel özellikleri bilinen homojen bir cisim olduğu özel durum için önerilen ikili görüntüleme yaklaşımının sınanması amacıyla, birinci örnekteki gömülü cisimlerin her ikisinin de elektriksel özellikleri bir miktar artırılarak Şekil 3(a)-(b)'de gösterildiği gibi $\varepsilon_{G,1} = \varepsilon_{G,2} = 22\varepsilon_0$ ve $\sigma_{G,1} = \sigma_{G,2} = 0,1$ (S/m) yapılmıştır.



Şekil 3. Gömülü saçıcıların, elektriksel özellikleri bilinen homojen malzemeden oluştuğu özel durum için (a)bağıl dielektrik geçirgenlik ve (b)iletkenlik. (c)-(d) Silindirik yapının arka plan olarak kabul edilmesi durumunda hesaplanan kontrast. Önerilen yöntemin ikili görüntüleme yaklaşımı (e)-(h) kullanılarak ve (i)-(l) kullanılmadan uygulanması durumunda ile elde edilen sonuçlar.

Bu durum için, CSI'nin önerilen ikili görüntüleme yaklaşımı kullanılarak uygulanmasıyla elde edilen kontrastın reel ve imajiner kısımları Şekil 3(g)-(h)'de verilmektedir. Bu kontrast değerlerine karşılık gelen bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik dağılımı ise Şekil3(e)-(f)'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlar, standart CSI'nin uygulanması ile elde edilen ve Şekil 3(i)-(l)'de verilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, kontrastın reel kısmının iki durumda elde edilen değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Öte yandan, imajiner kısımda, ikili görüntüleme yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar, standart CSI ile elde edilenlere kıyasla gerçek geometriye daha yakındır ve cismin geometrik özellikleri reel kısımla uyumlu bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak burada belirtmemiz gerekir ki, söz konusu yaklaşımın uygulanması, (12)'deki θ ve (13)'teki adım boyutunu tespit için gerçekleştirilecek çizgi arama işleminin ilk tahmini ve sonlandırma koşulları gibi birden fazla parametrenin ampirik olarak seçimini gerektirir.

Sonuçlar

Elektriksel ve geometrik özellikleri bilinen bir silindirik yapının içerisindeki cismin elektromagnetik dalgalar aracılığıyla görüntülenmesi probleminin çözümünde, özellikleri bilinen yapının arka plan olarak kabul edilmesinin ve problemin formülasyonunun buna göre oluşturulmasının CSI ve benzeri nonlineer inversiyon yöntemlerinin performansını önemli oranda iyileştirdiği bilinmektedir. Bu çalışma esas olarak, böyle bir yaklaşıma dayanmaktadır. Ancak, arka plan alanı u^B ve Green fonksiyonu G_B 'nin, daha önce düz saçılma problemleri için önermiş olduğumuz hızlı ve basit çözüm yöntemi ile hesaplanması sayesinde, bu durumda ihtiyaç duyulacak olan ilave hesaplama süresi belirgin şekilde azaltılmaktadır. Öte yandan, u^B ve G_B 'nin hesaplanması sırasında kullanılan düz saçılma

yaklaşımına ilişkin, daha önce [10]'da belirtilmiş olan, sık ve hızlı değişimlerin olduğu karmaşık yüzeyle silindirik yapılar için sonuçların doğruluğunun azalması gibi güçlüklerin mevcut problemi de etkileyeceği açıktır. Son olarak, gömülü saçıcının, elektriksel özellikleri bilinen homojen bir cisim olduğu özel durumda, daha önce modifiye edilmiş gradyan yönteminde kullanılmak üzere önerilmiş olan ikili görüntüleme yaklaşımının CSI'ya uyarlanması ile makul sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Ancak, bu ikili görüntüleme yaklaşımının uygulanması sırasında birden fazla parametrenin uygun değerlerinin ampirik olarak belirlenmesi gerekliliği, yaklaşımın farklı problemlerde uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Tiberi, G., Ghavami, N., Edwards, D. J., Monorchio, A., (2011). Ultrawideband microwave imaging of cylindrical objects with inclusions, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, **5**, 12, 1440-1446.
- [2] Abubakar, A., Hu, W., van den Berg, P. M., Habashy, T. M., (2011). A finite-difference contrast source inversion method, *Inverse Problems*, **24**, 6, 065004.
- [3] Gilmore, C., Zakaria, A., Pistorius, S., LoVetri, J., (2013). Microwave Imaging of Human Forearms: Pilot Study and Image Enhancement, *International Journal of Biomedical Imaging*, **2013**, 673027.
- [4] Lu, C., Zhong, X. G., (2003). Image reconstruction of two-dimensional objects inside dielectric walls, *Microwave and Optical Technology Letters*, **36**, 2, 91-95.
- [5] Meng, Q., Ye, D., Huangfu, J., Li, C., Ran, L., (2016). Experimental investigation on through-wall imaging based on non-linear inversions, *Electronics Letters*, **52**, 23, 1933-1935.
- [6] Semenov, S. Y., Nulyshv, A. E., Abubakar, A., Posukh, V. G., Sizov, Y. E., Souvorov, A. E., van den Berg, P.M., Williams, T. C., (2005). Microwave-Tomographic Imaging of the High Dielectric-Contrast Objects Using Different Image-Reconstruction Approaches, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **53**, 7, 2284-2294.

- [7] Van den Berg, P. M., Kleinman, R. E., (1997). A contrast source inversion method, *Inverse Problems*, **13**, 6, 1607–1620.
- [8] Van den Berg, P. M., van Broekhoven, A. L., Abubakar, A., (1999). Extended contrast source inversion, *Inverse Problems*, **15**, 5, 1325–1344.
- [9] Colton, D., Kress, R., (2013). *Inverse Acoustic and Electromagnetic Scattering Theory*, Springer, New York.
- [10] Aslanyürek, B., Gürbüz, T. U., (2017). A continuity-based series solution for electromagnetic scattering by arbitrary shaped multilayer cylinders: TM case, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **65**, 2, 812–819.
- [11] Souriau, L., Duchêne, B., Lesselier, D., Kleinman, R. E., (1996). Modified gradient approach to inverse scattering for binary objects in stratified media, *Inverse Problems*, **12**, 4, 463-481.
- [12] Polyanin, A.D., Manzhirov, A.V., (2007). *Handbook of Mathematics for Engineers and Scientists*, Chapman & Hall/CRC., Boca Raton.
- [13] Gürbüz, T. U., (2018). Computation of Two Dimensional Green's Function for Arbitrary Shaped Multilayer Cylinders. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **17**, 12, 2241–2245.
- [14] Antoniou, A., Lu, W.-S., (2007). *Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications*, Springer, New York.

Farklı Evrişimsel Sinir Ağı Mimarilerinin Yüz İfade Analizi Alanındaki Başarımlarının İncelenmesi

Investigation of the Performances of Various Convolutional Neural Networks Architectures on the Domain of Facial Expression Analysis

Ömer Faruk Söylemez^{1*}, Burhan Ergen²

¹ Dicle Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, osoylmez@dicle.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, bergen@firat.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 25 Ocak 2020
Düzeltilme: 12 Şubat 2020
Kabul: 10 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

Evrişimler sinir ağları, yüz ifade analizi

ÖZET

Evrişimsel Sinir ağları (ESA), son yıllarda birçok çalışma tarafından öznelik çıkarıcı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Geleneksel öznelik çıkarım algoritmalarının aksine, etkileşim gerektirmeden otomatik olarak öznelik çıkarıcı ESA'ların yardımıyla, birçok problem ve çalışma alanındaki başarımlar daha ileriye taşınmıştır. Bu çalışmada, farklı mimari özelliklere sahip olan ESA'ların yüz ifade analizi üzerindeki başarımları incelenmiştir. Öncelikle farklı ESA mimarileri tanımlanmış ve bu mimarilerin birbirlerinden farklılaştıkları kısımlar açıklanmıştır. FER2013 veri seti kullanılarak bütün ağ mimarileri üzerinde gerçekleştirilen eğitim ve doğrulama işlemleri sonucunda her bir mimariye ait başarımlar ve kayıp grafikleri sunulmuştur. Son olarak farklı mimarilerin yüz ifade analizi üzerindeki başarımlarının sebepleri tartışılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.679793

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 January 2020
Revised: 12 February 2020
Accepted: 10 March 2020

Keywords:

Convolutional neural networks, facial expression analysis

ABSTRACT

Convolutional Neural Networks (CNN) have been widely used as a feature extractor by many studies in recent years. Contrary to the different feature extraction algorithms that extract features manually, with the help of CNNs that achieves feature extraction automatically without intervention, state of the art for many problem domains have been redefined. In this study, performances of various CNN architectures on the problem domain of facial expression analysis have been investigate. Initially, different CNN architectures have been introduced and then the implementations in which they differ from each other are explained. As a result of the training and verification processes performed on all network architectures using the FER2013 data set, performance and loss graphs of each architecture are presented. Finally, the reasons for the success of different architectures on facial expression analysis are discussed and suggestions are made for forthcoming studies.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Ömer Faruk SÖYLEMEZ
✉ osoylmez@dicle.edu.tr

GİRİŞ

Yüz ifadeleri, geçmişten bu yana insanoğlunun duygularını aktarmak için kullandığı sözel olmayan iletişim türlerinin en önemlisidir. Duygu durumdaki değişiklikleri tasvir eden yüz ifadeleri, aynı zamanda bireyler arasındaki duygu paylaşımındaki en önemli rollerden birini üstlenmektedir. Birçok çalışma, yüz ifadelerinin, kültürlerden bağımsız olarak aynı hisleri temsil ettiğini göstermiştir [1], [2]. Yüz ifadeleri kişi veya toplumlara özgü değil evrenseldir ve bu, yüz ifadelerini duygu tasviri ve değişimi için ana elemanlardan birisi yapar.

Yüz ifadelerinin otomatik olarak analizi, geçtiğimiz son 20 yılın en güncel konularından birisidir [3], [4]. Başta insan bilgisayar etkileşimi olmak üzere, sürücü yorgunluk tespiti [5], kişisel güvenlik uygulamaları, sosyal pazarlama [6], interaktif oyunlar [7], sosyalleşebilir robotlar [8], yüz ifade sentezi [9] ve hasta duygu durum tespiti [10] gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

Genel olarak öznitelik çıkarımı aşaması, bir örüntü tanıma sistemindeki en önemli adımdır. Veriyi ve verinin sınıfları arasındaki farkları doğru bir şekilde temsil edebilen öznitelik seçilmesiyle başarılı bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu tarz bir senaryoda başarıyı artırabilecek etmenler, verinin önışleme şekli ve seçilen sınıflandırma yöntemidir. Buna karşın, veriyi ve verinin sınıfları arasındaki farklılıkları temsil edemeyen öznitelikler yardımıyla gerçekleştirilen sınıflandırma işlemi sonucunda ise istenilen başarımlar yakalanamamaktadır.

Bir yüz ifade analizi yönteminin başarımları, bir örüntü tanıma problemi olduğu gerçeğini göz önüne alırsak, büyük bir şekilde seçilen özniteliklere bağlıdır. Bu öznitelikler geleneksel yöntemler yardımıyla manuel veya otomatik olarak çıkarılabilir [11]–[16]. Küçük ve kontrollü veri setlerinde geleneksel yöntemler yardımıyla seçilen öznitelikler iyi sonuçlar verebilmektedir. Fakat büyük veri setlerinde bu şekilde bir öznitelik çıkarımı yorucudur ve hatalara oldukça açıktır. Bu sebeple son 8 yıldır, büyük veri setlerinde öznitelik çıkarımı için ESA'lar sıklıkla kullanılmaktadır ve geleneksel öznitelik çıkarım

yöntemlerine oranla daha başarılı olmuşlardır [3], [17], [18].

Çalışma FER2013 veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir [19]. Bu veri seti, 7 ifade sınıfına ait toplam 35887 adet 48x48 boyutunda gri-seviye imgeden oluşmaktadır. Veri setini hazırlayanlar tarafından rapor edilen insan başarımları 65 ± 5 'dir. Yarışma sonucunda Y. Tang [20] tarafından sunulan evrişimsel sinir ağı tabanlı yaklaşım doğrulama verisinde %69.7, test verisinde ise %71.1 başarımlar göstermiştir. Bu çalışma da kayıp fonksiyonu olarak L2-SVM kullanılmıştır. Yarışma sonrasında yayınlanan çalışmalar arasında en yüksek başarımla sahip olan çalışma Georgescu ve ark. [21] tarafından gerçekleştirilmiştir. Test verisi üzerinde %75.42 başarımlar gösteren bu çalışmada, öznitelik çıkarımı için 3 adet ESA ile birlikte BOVW kullanılmıştır. ESA'ların eğitimde sürecinde DSD [22] yönteminden faydalanılmıştır. Elde edilen öznitelik vektörü normalleştirilmiş ve ardından yerel karar destek makineleri ile sınıflandırılmıştır.

FER2013 veri seti üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, genel olarak birden fazla ESA ile birlikte geleneksel yöntemlerin de yardımıyla öznitelik çıkarma ve bu özniteliklerin farklı sınıflandırma yöntemleri ile sınıflandırılmasını içermektedir. Yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak, aşağıdaki çalışmalar da farklı yaklaşımlarla benzer başarımlar oranları sergilemişlerdir: Connie ve ark. [23] %73.40, Kim ve ark. [24] %72.72, Yu ve Zang [25] %72.

Bu çalışmanın asıl amacı, yüz ifade analizi problemi üzerine farklı ESA mimarilerinin başarımlarının incelenmesidir. Bu kapsamda farklı derinliklere ve parametre sayılarına sahip 8 adet özgün ESA, aynı parametrelerle eğitilmiş ve aralarındaki başarımlar farklarının kullanılan ESA'ya bağımlı bir değişken olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda sabit tutulan parametreler şunlardır: Eğitim verisi, doğrulama verisi, yığın boyutu, imge boyutu (tasarım kısıtlamalarından ötürü InceptionV1 ağı hariç), epok, optimize edici, eğitim işleminin sıfırdan gerçekleştirilmesi, başlangıç ağırlık değerlerinin dağılımı ve yığınların eğitime gönderiliş sırası.

Bu çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. “Materyal ve yöntem” bölümünde kullanılan FER2013 veri seti ile birlikte genel olarak ESA’lar hakkında ön bilgi ve kullanılan ESA’ların mimarileri anlatılmıştır. Ek olarak ağların hazırlanması ve eğitim sürecinden bahsedilmiştir. “Sonuçlar ve Tartışma” bölümünde ise çalışma sonucunda elde edilen veriler paylaşılmış ve ilgili sonuçlar yorumlanarak ve ileriye dönük çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Evrışimsel Sinir Ağları, genellikle imgeler üzerinde görüntü işleme amacıyla kullanılan ve nesneye dayalı öznitelik çıkarma, sınıflandırma, segmentasyon ve sınıflandırma gibi farklı işlemleri de gerçekleştirebilen sinir ağlarına verilen genel bir isimdir. ESA’lar büyük boyutlu verileri çeşitli katmanlardan geçirerek küçük öznitelik vektörleri elde ederler. ESA’ları diğer sinir ağlarından ayıran ana özellik evrışimsel katmanları içermeleridir.

Temel olarak ESA’lar şu şekilde çalışır: Girdi olarak verilen görüntüye, evrışimsel katmanlarda evrışim çekirdeklerinin yardımıyla evrışim işlemi uygulanır. Bir filtre yardımıyla imge filtrelemeye benzeyen bu işlem neticesinde uzaysal düzlemdeki pikseller ve bu piksellerin komşuları ile olan ilişkilerinin oluşturduğu bir öznitelik haritası elde edilir. Kullanılan filtre adedi kadar elde edilen öznitelik haritalarının boyutları, havuzlama yardımıyla küçültülür. Elde edilen görüntülere tekrar evrışim işlemi veya havuzlama uygulanarak, imge boyutu elde edilmek istenilen öznitelik vektörü boyutuna ulaşıncaya kadar bu işlem tekrarlanır. ESA’lar oluşturulurken bu sıranın izlenmesi önemli değildir. Bir evrışimsel sinir ağında birbirini izleyen birden fazla evrışim katmanı olabilir.

ESA’lar ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar 1980’lere dayanmaktadır. Fakat günümüzde kullandığımız geri-yayılım ile gerçekleştirilen öğrenme işlemi sayesinde eğitilen ESA fikri ilk kez Y. Lecun tarafından 1998’de ortaya atılmıştır [26]. Son birkaç yıldaki ESA’lara olan yoğun ilginin asıl çıkış noktası ise AlexNet’in 2012 yılında ILSVRC [27] üzerinde gösterdiği başarımıdır [28]. Grafik İşlem Birimlerinin

(GİB), Merkezi İşlem Birimlerine (MİB) oranla veriyi paralel olarak çok daha seri bir şekilde işleyebilmeleri argümanından yola çıkılarak gerçekleştirilen AlexNET, aynı yöntem kümesini kullanan ve kendisinden sonra gerçekleştirilen birçok ESA mimarisine ilham kaynağı olmuştur.

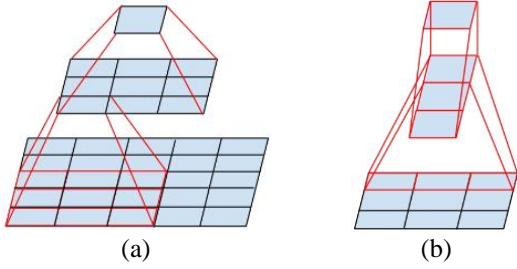
Bu çalışmamızda farklı ESA mimarilerinin yüz ifadesi tanıma işlemi üzerindeki başarımları incelenmiştir. Çalışmamızda kullanılan ESA’lar şunlardır: VGG16 [29], VGG16bnorm [29], InceptionV1 [30], InceptionV3 [31], Xception [32], ResNet50V1 [33], ResNet50V2 [34], MobileNetV1 [35] ve MobileNetV2 [36].

VGG16: Çalışmamızda ilk olarak VGG-16 ağı kullanılmıştır. VGG-16, AlexNet ile popülerleşen ESA’ların daha fazla katman ile daha yüksek başarımlar elde edebilecekleri fikri üzerine kurulmuştur. 13 evrışim ve 3 tam bağlı katman’dan (TBK) oluşan ağ, 138 milyon parametre içermektedir. VGG-16, AlexNet’e oranla daha küçük boyutlu filtreler (2x2 ve 3x3) kullanırken aktivasyon fonksiyonu olarak aynı şekilde ReLu kullanmaktadır.

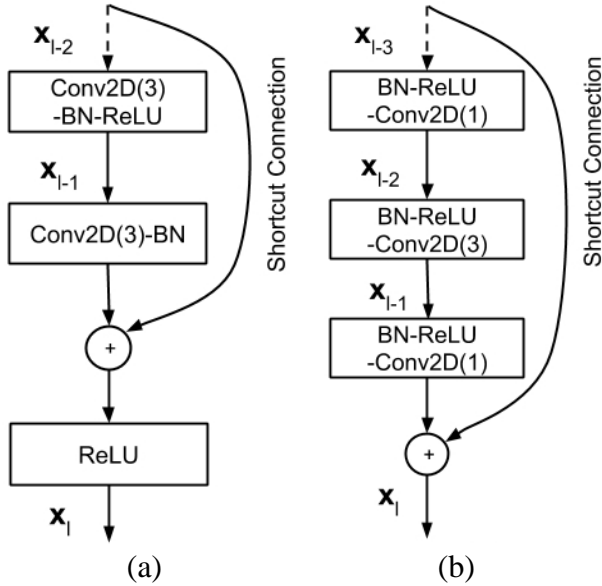
Inceptionv1, Inceptionv3 ve Xception: Inceptionv1 ya da diğer adıyla GoogLeNET, “Network-In-Network” [37] çalışmasından esinlenerek Google mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. Inceptionv1 ağını kendisinden önceki ağlardan ayıran ana özellik, ağ derinliği sağlamak için evrışim katmanlarını üst üste yığmaktan farklı olarak tasarlanan Inception modüllerini kullanmasıdır. Şekil 1’de gösterilen her bir Inception modülü, paralel olarak birbirlerine bağlı olan bir dizi evrışim katmanı içerir. Bu evrışim katmanlarında, görüntüden farklı öznitelikler çıkarmak için 1 x 1, 3 x 3 ve 5 x 5 boyutlarında filtreler kullanılmaktadır. Her bir katman dizisi, modülün sonunda birleştirilerek modülün çıktısını oluşturmaktadır. 1 x 1 filtreler, boyut indirgenmesi için kullanılmakta ve bu sayede işlem yükünü azaltılmaktadır. Buna ek olarak 1 x 1 filtrelerde kullanılan aktivasyon fonksiyonları lineerliği bozmakta, bu da ağın genellemesine yardımcı olmaktadır. Inceptionv1 ağı, 22 katmandan oluşmakta ve 5 milyon parametre içermektedir.

Inceptionv1 mimarisinin halefi olarak geliştirilen Inceptionv3 mimarisinde temsil darboğazı

giderilmeye çalışılmış, büyük filtreler daha küçük filtrelere ayrıştırılmış ve ağın genişliği ile derinliği dengelenmeye çalışılmıştır. Temsil darboğazının giderilmesi, evrişim katmanlarından sonra havuzlama yapılması ile sağlanmıştır. İşlem gücü bakımından daha maliyetli olsa da bu sayede ağın temsil yeteneği bir alt katmana daha iyi bir şekilde aktarılmıştır. $n \times n$ boyutlarındaki filtreler, $1 \times n$ ve $n \times 1$ olarak faktörize edilmiştir (Şekil 2.a). Bu asimetrik filtrelerle gerçekleştirilen evrişim işlemi, $n \times n$ boyutundaki filtre ile gerçekleştirilen sürümüne oranla işlem miktarını %33 azaltmaktadır. İşlem gücü ihtiyacını azaltmak için önerilen bir diğer yöntem ise büyük boyutlu filtrelerin gerçekleştirdiği işlemin, aynı işlemi yapabilecek daha fazla sayıda küçük boyutlu filtrelerle gerçekleştirilmesidir (Şekil 2.b).



Şekil 2. a) 5x5 evrişimlerin yerine geçen mini ağı. b) 3x3 evrişimlerin yerine geçen mini ağı.



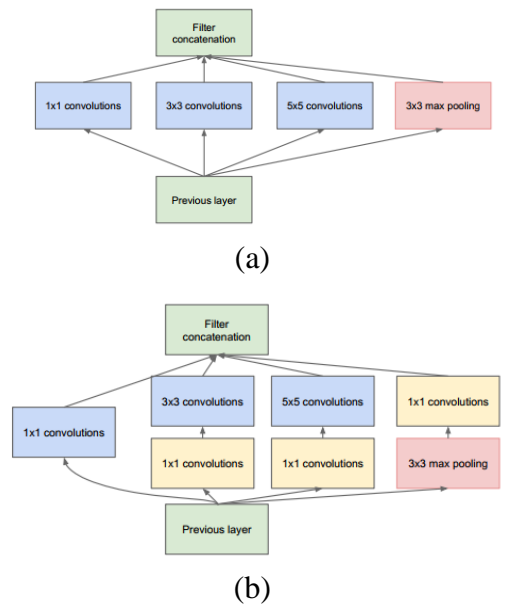
Şekil 3. a) Residual Modül v1
b) Residual Modül v2

Bu bağlamda 5×5 filtreler için iki adet 3×3 filtre, 7×7 filtreler için ise bir dizi 3×3 filtre kullanılmıştır. Bu uygulama neticesinde ise 5×5 filtreler için %28, 7×7 filtreler için ise %26 oranında işlem miktarı azaltılarak performans artışı sağlanmıştır.

Xception mimarisi, Inception modüllerinin derinlemesine ayrıştırılabilir evrişim modülleri ile değiştirildiği bir Inception mimarisi varyantıdır. InceptionV1 ile hemen hemen aynı sayıda parametreye sahiptir.

ResNetV1 ve ResNetV2: Derin ağlara daha fazla katman eklenerek ağların daha da derinleştirilmesi bir yere kadar başarıya katkıda bulunmaktadır. Fakat bu işlem her zaman başarıyı arttıramayabilir. Belirli bir derinliğin üzerindeki ağlarda temsil yeteneği kaybolmakta, eğitim ve doğrulama başarımları sabitleşmekte ve devamında ise azalmaya başlamaktadır. Microsoft Research tarafından geliştirilen ResNetV1, derin ağlara özgü olan bu durumun çözümüne "Residual" kısayol bağlantılar sunarak katkıda bulunmuştur. Bu şekilde tasarlanan ağlar, kaybolan ve patlayan gradyan problemlerine karşı daha gürbüz çalışmaktadırlar. ResnetV2'nin ResnetV1'den farklılaştığı nokta, kısayol bağlantılarının daha fazla blok sonrasında gerçekleşmesi ve blokların içerisindeki işlem sıralarının değişmesidir (Şekil 3).

MobileNetV1 ve MobileNetV2: Mobil ve gömülü görü uygulamaları için sunulan



Şekil 1. a) Saf Inception modülü
b) Boyut azaltmalı Inception modülü

MobileNet mimarisi Google ekibi tarafından geliştirilmiştir. Derinlemesine ayrıştırılabilir evrişim katmanları ile oluşturulan bu hafif mimaride, iki adet global hiperparametre sayesinde gecikme ve başarımlar arasında seçim yapılabilmektedir. Bu parametreler sayesinde geliştirici, kendi problem kısıtlarına göre istediği ağı elde edebilmektedir. MobileNetV2 ağının MobileNetV1 ağından en büyük farkı, kullanılan ters “residual” yapısıdır.

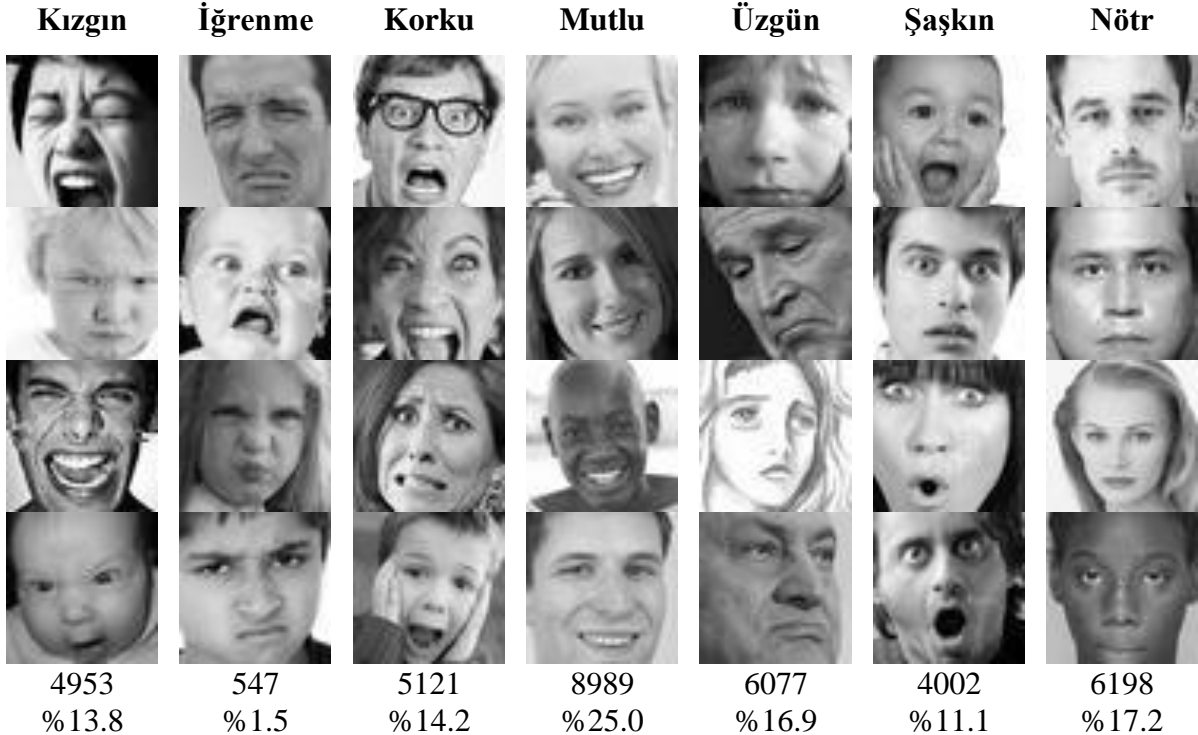
FER2013 Veri Seti:

Bu çalışmada FER2013 [38] veri seti kullanılmıştır. Kaggle üzerinde gerçekleştirilen bir yüz ifade analizi yarışması için oluşturulan veri seti, 28709’u eğitim, 3589’u doğrulama ve 3589’u test verisi olmak üzere toplam 35887 48x48 boyutunda gri-seviye yüz ifadesinden oluşmaktadır. Duygu içeren 184 anahtar kelimenin (öfkeli, keyifli, şaşkın v.b.), cinsiyet, yaş veya etnik köken gibi kelimelerle birleştirilmesiye yaklaşık 600 kelime dizisi oluşturulmuş ve bu diziler Google Image Search API’sinde yüz ifadesi sorguları olarak kullanılmıştır. Her bir sorgudan elde edilen ilk 1000 görüntü bir sonraki işlem aşamasında kullanılmıştır. Bu aşamada OpenCV yüz tanıma kütüphanesi yardımıyla yüz imgelerini sınırlayan çizgiler belirlenmiştir. Devamında ise bir ekip tarafından yanlış etiketlenmiş imgeler

ayıklanmış, gerektiği takdirde yüz imgeleri sınır çizgileri tekrar belirlenmiş ve aynı resme ait diğer kopyalar veri setinden çıkarılmıştır. Son olarak elde edilen imgeler, Toronto Yüz Veri Setinde [39] belirtilen yüz ifadesi sınıfları ile eşleştirilmiştir. Ortaya çıkan nihai veri seti 4953 “Kızgın”, 547 “İğrenme”, 5121 “Korku”, 8989 “Mutlu”, 6077 “Üzgün”, 4002 “Şaşkın” ve 6198 “Nötr” olmak üzere 35887 görüntüden oluşmaktadır. Veri seti üzerindeki insan duygu tespit başarımları %65±5 olarak belirlenmiştir. Veri setine ait örnek imgeler ve dağılımları Şekil 4’te gösterilmiştir.

Eğitim için Ağların Hazırlanması ve Eğitim Süreci:

Veri setindeki 48x48 boyutundaki imgelerin ağlara girdi olarak verilmek üzere yeniden boyutlandırılması için “en yakın komşu interpolasyonu” kullanılmıştır. İşlem yükü oldukça düşük olan bu interpolasyon, yeni oluşturulan pikselin değerinin, en yakın komşusuna eşitlenmesiyle gerçekleştirilir. InceptionV1 ağı hariç olmak üzere bütün ağlar için girdi imgesi boyutu 128 x 128 olarak belirlenmiştir. InceptionV1 mimarisinin kısıtlamalarından dolayı sadece bu ESA için girdi imgesi boyutu 192 x 192 olarak atanmıştır.



Şekil 4. FER2013 veri setindeki sınıflara ait örnekler, örnek sayısı ve dağılımı

Yeniden boyutlandırılma haricinde önışlem olarak imge yoğunluk değerleri “255” ile bölünmüştür. Bu şekilde girdi olarak verilen imgelerin [0, 1] aralığında yoğunluk değerlerine sahip olmaları hedeflenmiştir. Bir diğer önışlem ise yığınlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yığındaki piksel değerlerinden yığının piksel yoğunluk ortalaması çıkartılmış ve ardından yeni piksel değerleri yığının standart sapmasıyla bölünmüştür. Bütün bu işlemler sonucunda piksel yoğunluk değerleri [-1, 1] aralığında dağılıma sahip olmuşlardır. Bunlara ek olarak veri artırma amacıyla herhangi bir veri artırma yöntemi kullanılmamıştır.

Çalışmada kullanılan bütün ağların en baştan eğitildiğini daha öncesinde belirtmiştik. Bu kapsamda evrişim ve tam bağı katmanlardaki ağların başlangıç ağırlıkları, “Glorot sürekli düzgün dağılım” [40] ile belirlenmiştir. Buna ek olarak bias terimi bütün ağırlıklar için “0” olarak atanmıştır.

Ağların eğitiminde optimize edici olarak “Adam” [41] kullanılmıştır. Adam, stokastik hedef fonksiyonlarının birinci dereceden gradyan tabanlı optimizasyonu için sunulan bir algoritmadır. Bu algoritma, uygulaması kolay, hesaplama açısından verimli olmakla birlikte düşük bellek gereksinimine sahiptir ve veri veya parametre bakımından büyük olarak sınıflandırılabilir problemlere karşı başarılıdır.

Çalışmamızda veri seti geliştiricileri tarafından oluşturulan eğitim ve doğrulama verileri kullanılmıştır. Veri setine dışarıdan veri eklenmemiş veya veri seti içerisindeki olumsuz örnekler ayıklanmamıştır. Her bir ESA, 200 epok boyunca eğitim verisi ile eğitilmiş ve her epok sonrasında doğrulama verisi ile doğrulama başarımı ölçülmüştür. ESA’ların gösterdiği en yüksek doğrulama başarımı ilgili ESA’nın başarımı olarak kaydedilmiştir.

Bunlara ek olarak, ağların aynı kıstaslar altında eğitilebilmesi için eğitim ve test süreçleri boyunca imgeler aynı sıra ile gönderilmiştir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde ESA’ların eğitim ve test süreçlerinden bahsedilmiş ve çalışma sonucunda elde edilen veriler paylaşılmıştır. Ayrıca ilgili sonuçlar yorumlanmış ve ileriye dönük çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmamıza söz konusu olan her bir ESA mimarisi, FER2013 veri seti ile eğitilmiş ve ardından doğrulamaya tabii tutulmuştur. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz bütün ESA’lar, farklı yaklaşımları tasarımlarının temellerine oturarak farklı mimariler sunmuşlardır. Sunulan bu mimarilerin temel amacı, ILSVRC2012 [27] veri seti üzerindeki başarımı artırmak veya aynı başarımı daha düşük işlem karmaşıklığı ile elde etmektir. ESA’ların en önemli kullanım alanlarından birisi olan imge sınıflandırma üzerine sunulan ve toplam 1000 sınıf ve her sınıfta 1000 adet imge içeren ILSVRC2012 veri seti, ESA başarımı için temel endüstri standardı olmuştur.

Genel olarak ESA’ların eğitimi için “en baştan eğitme”, “öğrenme transferi” ve “ince ayar” olmak üzere üç farklı yöntem izlenebilir. “En baştan eğitme”, daha öncesinde herhangi bir eğitimden geçmemiş ağların eğitilme işlemi için kullanılan bir tabirdir. En baştan eğitme esnasında ağırlık değerleri, farklı dağılım yöntemleri yardımıyla hesaplanır ve atanır. Devamında ise belirlenen optimizasyon algoritması ve öğrenme oranı yardımıyla, ağ yakınsayana kadar öğrenme işlemi gerçekleştirilir. “Öğrenme transferi”, daha öncesinde eğitilmiş olan bir ağın, aynı sınıflara fakat farklı sınıf dağılımına sahip bir veri seti ile veya eğitim kümesindeki sınıflardan tamamen farklı bir veri seti ile eğitilmesi vasıtasıyla gerçekleştirilir. Öğrenme transferindeki asıl amaç, daha öncesinde eğitilmiş ve belirli bir başarıma ulaşmış bir ağın öznitelik çıkarma yeteneğinin, farklı bir problem üzerinde kullanılmasıdır. ESA eğitimi için kullanılabilir olan son yöntem ise “ince ayar”dır. Önceden eğitilmiş ağın sınıfları ile aynı sınıflara ait daha fazla verinin eğitilmesi ile gerçekleştirilen ince ayarda, öğrenme oranı düşük tutularak ağın başarımının yükseltilmesi hedeflenmektedir. Çalışmamızda yer alan ESA’lar, eğitildikleri problem uzayının (imge sınıflandırma) eğitilecek problem uzayından (yüz ifade analizi) farklı olması sebebiyle en baştan eğitilerek kullanılmışlardır.

Çalışmamızda ilk olarak VGG-16 ağı kullanılmıştır. Gerçekleştirdiğimiz eğitim işlemi sonucunda ağ eğitim verisine aşırı uyumuş, %25 civarında bir başarımla elde edilmiş ve eğitim başarısız olmuştur. VGG-16 ağı yaklaşık olarak 138 milyon parametre içermektedir. Bu denli

yüksek parametre içeren ağların sınırlı büyüklükte eğitim verileriyle eğitilmesi için regularizasyon yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Ağ performansının iyileştirilmesi için, “Yığın normalizasyonu” ile regüle edilen VGG-16 ağı ile gerçekleştirdiğimiz eğitim işlemi sonucunda %65.0 doğrulama başarımı elde edilmiştir.

Çalışmamızda yer verdiğimiz ve Inception mimarisini temel alarak oluşturulan ağlar InceptionV1, InceptionV3 ve Xception’dır. Eğitimlerini gerçekleştirdiğimiz ağlardan 7 milyon parametre içeren InceptionV1 ağı %65.8 oranında bir başarımla sergilemiştir. InceptionV1 ağına, getirdiği imge boyutu kısıtlamalarından ötürü diğer bütün ağlardan farklı olarak imge boyutu 192x192 piksel olarak verilmiştir. Aynı mimari temelli 24 milyon parametre içeren InceptionV3 ve 23 milyon parametre içeren Xception ağlarının sırasıyla %63.2 ve %61.1 başarımla sağladığı gözlemlenmiştir.

Residual bağlantıların sunulduğu ResNet50V1 ve ResNet50V2 ağları ile gerçekleştirilen eğitim işlemleri sonucunda sırasıyla %59.5 ve %59.8 oranında başarımla elde edilmiştir.

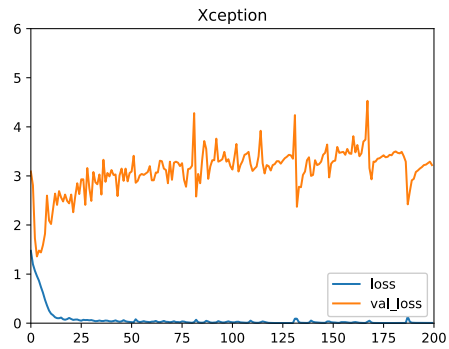
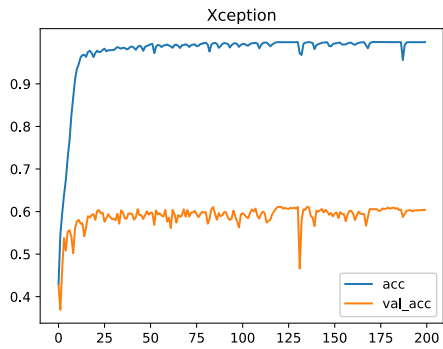
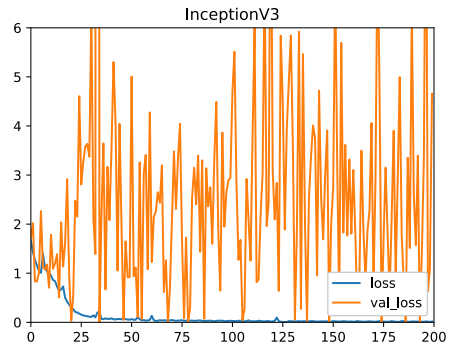
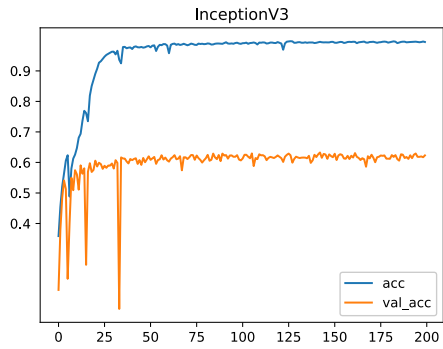
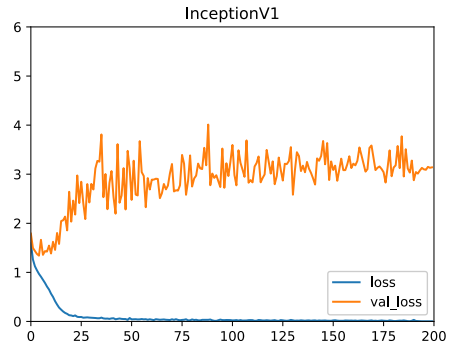
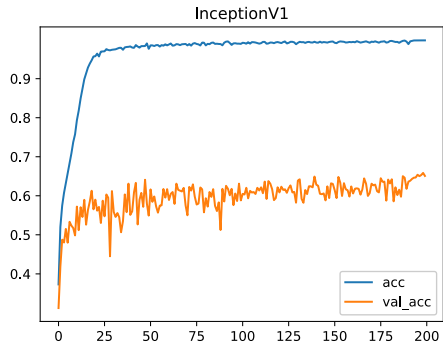
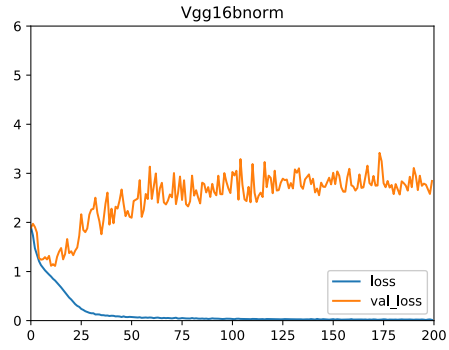
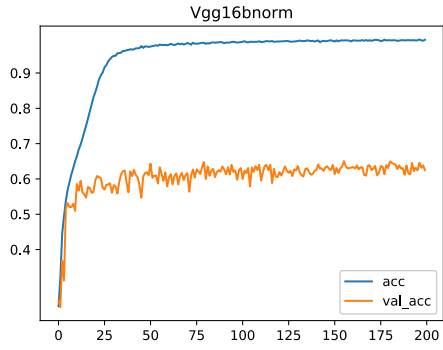
Son olarak, mobil ve gömülü görü uygulamaları için geliştirilen MobileNetV1 ve MobileNet V2 ağları çalışmamız kapsamında eğitilmiş ve iki ağın da %58.5 başarımla sergilediği gözlemlenmiştir.

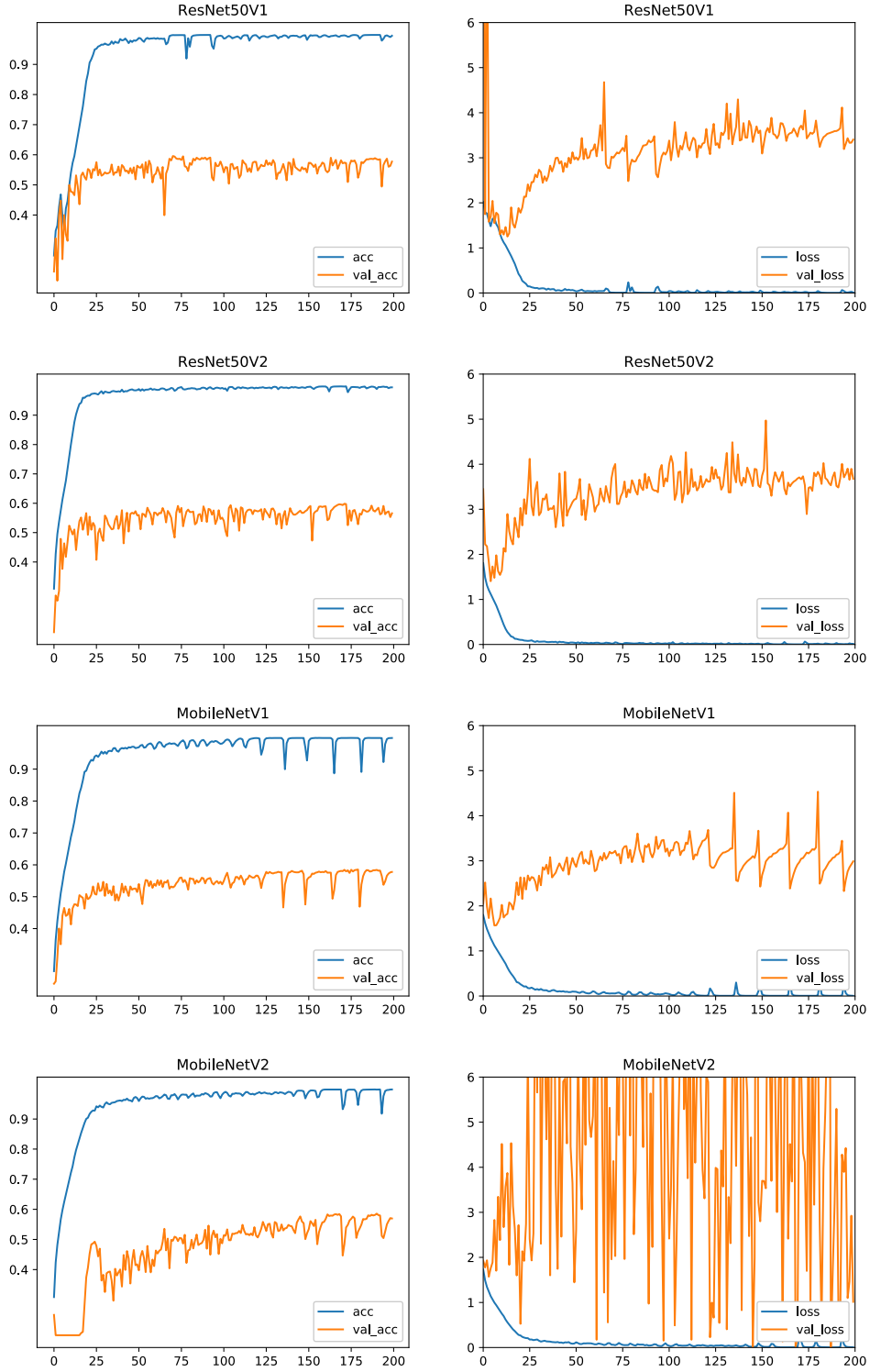
Tablo 1’de, çalışmamızda kullanılan ağlar ve bu ağlara ait parametre sayısı bilgisi ile birlikte eğitim esnasında kullanılan yığın boyutu, imge boyutu, eğitim süresi ve başarımla ilişkin bilgiler verilmiştir. Söz konusu ağlara ilişkin eğitim başarımları, eğitim kaybı, doğrulama başarımları ve doğrulama kaybı değerlerine ilişkin veriler Şekil 5’de gösterilmiştir.

InceptionV3 ve MobileNetV2 ağlarının kayıp grafikleri incelendiğine, kayıpların bir değere yakınsamadığı ve büyük bir aralıkta dalgalandığı görülmektedir. Buna birden fazla etken sebep olabilir. Fazla parametre ve düşük regularizasyona sahip ESA’lar bu şekilde bir davranış sergileyebilmektedirler. Bu tarz ağlar, eğitim verilerini sınıflandırmak için birçok farklı yola sahiptirler. Fakat bu seçimlerden bazıları, eğitim verilerine aşırı uyum gösterebilmekte ve doğrulama verisinde yüksek hataya sebep olabilmektedir. Kayıp dalgalanmasına sebep olabilecek bir diğer etken ise örneklerin “güven” değerlerinin düşmesidir. İki sınıfla gerçekleştirilen ve doğru sınıfın ilk sınıf olduğu iki adet sınıflandırılma işlemi sonucunda [0.9 0.1] ve [0.6 .04] olasılık dağılımları elde edilmiştir. İki fonksiyon da örneği doğru bir şekilde sınıflandırmış olmasına rağmen ikinci fonksiyonun güven aralığı daha düşük ve kayıp fonksiyonunun çıktısı daha yüksektir. Çok sayıda örnekle gerçekleştirilen tahmin işlemi sonucunda her ne kadar başarımla farklılık göstermese de kayıp bu yolla artmaktadır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan ağlar ve bu ağlara ait parametre sayısı ile birlikte eğitim esnasında kullanılan yığın boyutu, imge boyutu, epok ve başarımla ilişkin bilgiler.

Ağ	Parametre	Yığın Boyutu	İmge Boyutu	Epok	Başarıml (%)
VGG16	138 m	128	128x128	200	25.4
VGG16-Bnorm	138 m	128	128x128	200	65.0
InceptionV1	7 m	128	192x192	200	65.8
InceptionV3	24 m	128	128x128	200	63.2
Xception	23 m	128	128x128	200	61.1
Resnet50V1	25.6 m	128	128x128	200	59.5
Resnet50V2	25.6 m	128	128x128	200	59.8
MobileNetV1	4.2 m	128	128x128	200	58.5
MobileNetV2	3.5 m	128	128x128	200	58.5





Şekil 5. Söz konusu ağlara ilişkin eğitim ve doğrulama verileri. Lejant: (acc:test başarımı) (val_acc:doğrulama başarımı) (loss: test kaybı) (val_loss:doğrulama kaybı)

Derin yüz ifade analizi için FER2013 veri seti kullanılarak gerçekleştirilen çalışmamızın sonucunda en yüksek başarım %65.8 ile InceptionV1 mimarisi tarafından sergilenmiştir. Her ne kadar kendisine en yakın başarıma sahip

olan VGG16bnorm (%65) ile arasında küçük bir fark gözlemlense de, parametre sayıları göz önüne alındığında InceptionV1 mimarisinin bunu yaklaşık 20 kat daha az parametre ile gerçekleştirmesi, ağın yüz ifade analizi

üzerindeki başarımlarını perçinlemektedir. Sırasıyla %63.2, %61.1, %59.5 ve %59.8 başarımlarını sergileyen InceptionV3, Xception, Resnet50V1 ve ResNet50V2 ağları, birbirleri ile hemen hemen aynı parametre sayılarına sahip olan ağlardır. Diğer ağlara nazaran en az parametre sayısına sahip olan MobileNetV1 ve MobileNetV2 ağları %58.5 başarımlarını göstermişlerdir. Eğitim ve test süreçleri için bu iki ağ arasında yapılacak bir seçimde daha az parametre içeren MobileNetV2 ağının seçilmesi daha uygundur. Son olarak VGG16 ağı, içerdiği fazla parametre ve regularizasyon eksikliğinden dolayı aşırı uyum göstermiştir ve başarımlarını %25.4 ile kısıtlı kalmıştır.

Bu çalışmada, yüz ifadesi analizi için farklı ESA mimarilerinin performansları karşılaştırılmıştır. Gelecek çalışmalarda, eğitimden önceki ön işlemlerin, ilk parametre dağılımının, filtre boyutlarının ve ağ derinliğinin başarımlar üzerindeki etkisinin incelenmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] C. Darwin, *The expression of the emotions in man and animals*. London: John Murray, 1872.
- [2] P. Ekman *et al.*, “Universals and Cultural Differences in the Judgments of Facial Expressions of Emotion,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 53, no. 4, pp. 712–717, 1987.
- [3] S. Li and W. Deng, “Deep Facial Expression Recognition: A Survey,” *arXiv Prepr. arXiv1804.08348*, pp. 1–22, 2018.
- [4] G. Sandbach, S. Zafeiriou, M. Pantic, and L. Yin, “Static and dynamic 3D facial expression recognition: A comprehensive survey,” *Image Vis. Comput.*, vol. 30, no. 10, pp. 683–697, 2012.
- [5] M. Ramzan, H. U. Khan, S. M. Awan, A. Ismail, M. Ilyas, and A. Mahmood, “A Survey on State-of-the-Art Drowsiness Detection Techniques,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 61904–61919, 2019.
- [6] A. M. Barreto, “Application of facial expression studies on the field of marketing,” *Emot. Expr. brain face*, no. June, pp. 163–189, 2017.
- [7] P. M. Blom *et al.*, “Towards personalised gaming via facial expression recognition,” *Proc. 10th AAAI Conf. Artif. Intell. Interact. Digit. Entertain. AIIDE 2014*, pp. 30–36, 2014.
- [8] L. Zhang, M. Jiang, D. Farid, and M. A. Hossain, “Intelligent facial emotion recognition and semantic-based topic detection for a humanoid robot,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 13, pp. 5160–5168, 2013.
- [9] Y. Zhou and B. E. Shi, “Photorealistic facial expression synthesis by the conditional difference adversarial autoencoder,” *2017 7th Int. Conf. Affect. Comput. Intell. Interact. ACII 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 370–376, 2017.
- [10] G. Muhammad, M. Alsulaiman, S. U. Amin, A. Ghoneim, and M. F. Alhamid, “A Facial-Expression Monitoring System for Improved Healthcare in Smart Cities,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 10871–10881, 2017.
- [11] L. Wang, R. F. Li, K. Wang, and J. Chen, “Feature representation for facial expression recognition based on FACS and LBP,” *Int. J. Autom. Comput.*, vol. 11, no. 5, pp. 459–468, 2014.
- [12] Y. Chang, C. Hu, R. Feris, and M. Turk, “Manifold based analysis of facial expression,” *Image Vis. Comput.*, vol. 24, no. 6, pp. 605–614, 2006.
- [13] R. Shbib and S. Zhou, “Facial Expression Analysis using Active Shape Model,” *Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit.*, vol. 8, no. 1, pp. 9–22, 2015.
- [14] U. Tekguc, H. Soyel, and H. Demirel, “Feature selection for person-independent 3D facial expression recognition using NSGA-II,” *Comput. Inf. ...*, pp. 35–38, 2009.
- [15] H. Soyel and H. Demirel, “Facial expression recognition based on discriminative scale invariant feature transform,” *Electron. Lett.*, vol. 46, no. 5, pp. 343–345, 2010.
- [16] D. Al Chanti and A. Caplier, “Improving bag-of-Visual-Words towards effective facial expressive image classification,” *VISIGRAPP 2018 - Proc. 13th Int. Jt. Conf. Comput. Vision, Imaging Comput. Graph. Theory Appl.*, vol. 5, pp. 145–152, 2018.
- [17] A. T. Lopes, E. de Aguiar, A. F. De Souza, and T. Oliveira-Santos, “Facial expression recognition with Convolutional Neural Networks: Coping with few data and the training sample order,” *Pattern Recognit.*, vol. 61, pp. 610–628, 2017.
- [18] V. Tümen, Ö. F. Söylemez, and B. Ergen, “Facial emotion recognition on a dataset using Convolutional Neural Network,” *IDAP 2017 - Int. Artif. Intell. Data Process. Symp.*, 2017.
- [19] I. J. Goodfellow *et al.*, “Challenges in representation learning: A report on three machine learning contests,” *Neural Networks*, vol. 64, pp. 59–63, 2015.
- [20] Y. Tang, “Deep Learning using Linear Support Vector Machines,” 2013.
- [21] M. I. Georgescu, R. T. Ionescu, and M. Popescu, “Local learning with deep and handcrafted

- features for facial expression recognition,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 64827–64836, 2019.
- [22] S. Han *et al.*, “DSD: Dense-sparse-dense training for deep neural networks,” *5th Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2017 - Conf. Track Proc.*, 2019.
- [23] T. Connie, M. Al-Shabi, W. P. Cheah, and M. Goh, “Facial expression recognition using a hybrid CNN-SIFT aggregator,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10607 LNAI, pp. 139–149, 2017.
- [24] B. K. Kim, J. Roh, S. Y. Dong, and S. Y. Lee, “Hierarchical committee of deep convolutional neural networks for robust facial expression recognition,” *J. Multimodal User Interfaces*, vol. 10, no. 2, pp. 173–189, 2016.
- [25] Z. Yu and C. Zhang, “Image based static facial expression recognition with multiple deep network learning,” *ICMI 2015 - Proc. 2015 ACM Int. Conf. Multimodal Interact.*, pp. 435–442, 2015.
- [26] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “Gradient-based learning applied to document recognition,” *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2323, 1998.
- [27] O. Russakovsky *et al.*, “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge,” *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, no. 3, pp. 211–252, 2015.
- [28] A. Krizhevsky and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” in *Neural Information Processing Systems*, F. Pereira, C. J. C. Burges, L. Bottou, and K. Q. Weinberger, Eds. Curran Associates, Inc., 2012, pp. 1–9.
- [29] K. Simonyan and A. Zisserman, “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition,” *CoRR*, vol. abs/1409.1, 2015.
- [30] C. Szegedy *et al.*, “Going deeper with convolutions,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 07-12-June, pp. 1–9, 2015.
- [31] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, “Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2016-Decem, pp. 2818–2826, 2016.
- [32] F. Chollet, “Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions,” *Proc. - 30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1800–1807, 2017.
- [33] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition,” *2016 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. abs/1512.0, pp. 770–778, 2016.
- [34] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Identity mappings in deep residual networks,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9908 LNCS, pp. 630–645, 2016.
- [35] A. G. Howard *et al.*, “MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications,” 2017.
- [36] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L. C. Chen, “MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 4510–4520, 2018.
- [37] M. Lin, Q. Chen, and S. Yan, “Network in network,” *2nd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2014 - Conf. Track Proc.*, 2014.
- [38] I. J. Goodfellow *et al.*, “Challenges in representation learning: A report on three machine learning contests,” *Neural Networks*, vol. 64, pp. 59–63, 2015.
- [39] S. Rifai, Y. Bengio, A. Courville, P. Vincent, and M. Mirza, “Disentangling factors of variation for facial expression recognition,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 7577 LNCS, no. PART 6, pp. 808–822, 2012.
- [40] X. Glorot and Y. Bengio, “Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks,” *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 9, pp. 249–256, 2010.
- [41] D. P. Kingma and J. L. Ba, “Adam: A method for stochastic optimization,” *3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Conf. Track Proc.*, 2015.



Neutron and Ion Production with Various Applied Voltages in Spherical Plasma

Focus

Yasar Ay ^{1,*}

¹ Dicle University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, ORCID: 0000-0002-9888-8700

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 January 2020
Received in revised form 11 March 2020
Accepted 12 March 2020
Available online 30 March 2020

Keywords:

Ion, Neutron, Plasma Focus, Radiation, Voltage

ABSTRACT

In this work, the applied voltage effect on neutron yield and ion production are studied by varying the charging voltage between 15 kV and 30 kV with 1 kV increment to investigate neutron yield, radiation emissions and ion properties using the developed MHD model. While Joule heating, radiative recombination, bremsstrahlung and line radiation are calculated as radiation terms, beam-ion speed, energy and density are calculated as ion properties. The dominant neutron production mechanism is beam-target which results from the accelerated energetic ions under the diode voltage which is calculated along with neutron yield. In this study, while maximum neutron yield is $2.63 \cdot 10^{13}$ for 30 kV charging voltage, beam-ion energy and speed reach 61 keV and 240 cm/ μ s, respectively.

Doi: 10.24012/dumf.681853

* Corresponding author
Yasar, Ay
✉ yasar.ay@dicle.edu.tr

Introduction

Hot and dense plasma sources can be produced by the gas discharge of the pulsed plasma focus (PF) devices. The geometry of PF devices is mostly cylindrical, which are named as "Mather type" or "Filippov type" PF devices. These devices mainly have different electrode configurations. Spherical plasma focus (SPF) as a new design is used in this study. The PF devices can accelerate the beams of electrons and ions to high energies for neutron, x-rays and energetic ion production by using deuterium (D), Tritium (T) or a mixture of both gases (DT).

Thermonuclear and beam-target are the two ways of producing neutrons in PF. [1]. Beam target is the main neutron production in SPF. While the beam-target neutrons result from the interaction of the plasma with the accelerated beam-ions under diode voltage, thermonuclear neutrons are generated with interaction of deuterons in radiative phase of the plasma focus devices [2].

Neutron production is one of important aspects of PF investigations. Therefore, investigating the ways of increasing neutron yield from the PF devices are studied in terms of capacitor bank energy [3], gas pressure [4], and energy transformation [5]. All of these parameters have strong effect on neutron yield in PF devices. Neutron yield is also influenced by anode properties of PF such that neutron yield can be increased by using a hollow anode [6], a conical tip on anode [7], and a converging anode shape [8] in PF device. In addition to the effect of the anode shape on the neutron yield, it also has a strong effect on x-ray emissions. Comparing two anode shapes (converging anode and conventional cylindrical anode) for neutron yield and x-ray emission shows that while cylindrical anode leads to higher neutron yield, x-ray emission is higher for converging anode. Even though neutron yield is lower when converging anode is used in the plasma focus device, neutron energy is higher when using converging anode shape [8].

Different anode tips were investigated in the PF device for soft x-ray production by Habibi and

Mahtab [9]. Cylindrical-flat, cylindrical-hollow, spherical-convex, cone-flat, and cone-hollow anode tips were used with the plasma focus device. While using cone-flat, spherical-convex, and cone-hollow anode tips resulted in a significant increase in x-ray intensity compared with conventional cylindrical-flat anode tips, using cylindrical-hollow tip showed a decrease in x-ray intensity. In this study, cone-flat anode produced the highest x-ray intensity. Therefore, it can be used to optimize PF as an x-ray source.

While soft x-rays are originated from the plasma itself, hard x-rays result from the interaction of the electron beams with anode. Since soft x-ray and hard x-ray emission have different production mechanisms in the PF devices, they also have different optimum operating conditions. Therefore, PF devices can be optimized for either soft x-ray emission or hard x-ray emission even though increasing charging voltage increases both soft x-ray and hard x-ray emissions, which shows that x-ray production has a strong correlation with charging voltage in the cylindrical plasma focus devices [10].

An MHD model for SPF is developed and validated [11,12], SPF is optimized for neutron production [13] and the effect of the various cathode radius on the plasma dynamics is investigated [14] in the previous works.

This work investigate the effect of the charging voltage on neutron and ion production, and radiation emissions in SPF by using MHD model to simulate SPF. In addition to the calculation of the ion properties (speed, energy and density) in the SPF, neutron yield, Joule heating, bremsstrahlung radiation, radiative recombination and line radiation are also investigated with respect to charging voltage variation. In this study, the charging voltage variation is between 15 kV and 30 kV with 1 kV increment for each calculation step for the above-mentioned investigations.

Spherical Plasma Focus Model

A model for SPF has been developed and validated. The detailed theory of the model with

the derivation of the equations and validation of the model were explained in detail in the previous works [11,12].

The model consists of 4 phases: rundown phase I, rundown phase II, reflected shock phase and radiative phase. In the model, the snowplow model and shock wave equations and equivalent circuit equations are used to describe SPF. Figure 1 shows SPF device and the equivalent circuit. In the circuit model, V_0 : charging voltage, C_0 : capacitor bank, L_0 : circuit inductance, r_0 : circuit resistance, L_p : plasma inductance, r_p : plasma resistance.

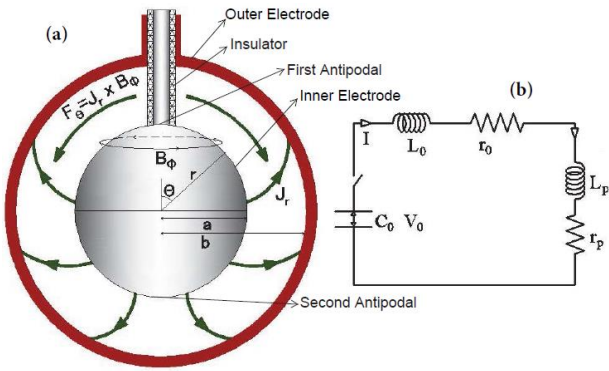


Figure 1. (a) SPF device. (b) Equivalent circuit model

The plasma focus devices produce high density-high temperature plasma which is called pinch. The CS is formed by electrical discharge and accelerated as the first step for pinch production (rundown phase I), and then it is compressed after the current sheath passes the equator point of SPF device (rundown phase II). Since CS is supersonic, an ionizing shock wave is formed in front of CS. After the shock front hits the axis of the SPF device, it is reflected and starts moving to CS (reflected shock phase), to produce the high density-high temperature pinch (radiative phase).

Starting point for rundown phase I is CS formation and this phase finishes when CS reaches the equator of SPF which is the beginning of the rundown phase II. Rundown phase II ends and reflected shock phase starts when the shock front hits the axis of the SPF device. Then shock front moves towards the

coming CS until the reflected shock front and the coming CS meet, that is the end of the reflected shock phase and the beginning of the radiative phase. Compression of plasma continues in radiative phase which ends at the maximum compression with the plasma disruption.

Governing Equations

Derivation of the equations is given in the previous works [11, 12]. Therefore, only the final equations are given here.

Since CS changes momentum because of the magnetic pressure on the CS, The change in the momentum is set equal to the magnetic pressure and this equation is solved to find equation of motion for CS as follows for all phases [11,12].

Equation of motion for rundown phase I:

$$\ddot{\theta} = \frac{\alpha^2 I^2}{r \sin \theta (\cos \theta_0 - \cos \theta)} - \frac{\dot{\theta}^2 \sin \theta}{\cos \theta_0 - \cos \theta}$$

Equation of motion for rundown phase II and reflected phase:

$$\ddot{\theta} = \frac{\alpha^2 I^2}{r \cos(\theta - \pi/2)(\cos \theta_0 - \cos \theta)} - \frac{\dot{\theta}^2 \sin \theta}{\cos \theta_0 - \cos \theta}$$

where $\alpha = \frac{3\mu_0 f_c^2 \ln(\frac{b}{a})}{8\pi^2 \rho f_m (b^3 - a^3)}$ is a scaling parameters that consist of constant values. I is discharge current, r is the distance for plasma parameter calculations, θ is angle of the motion, θ_0 is an angle corresponding to the insulator volume, μ_0 is permeability of free space, f_c and f_m are current and mass fraction, a is inner and b is outer electrode radius, ρ represents initial gas density.

For the last phase (radiative phase), radiation terms are taken into account and there is third force on the CS due to radiation emissions. In this phase, the momentum change of the current sheath is because of the magnetic pressure on the current sheath and radiation emission, which leads to the following equation as the equation of the motion for radiative phase.

$$\ddot{\theta} = \frac{\alpha^2 I^2}{r \cos(\theta - \pi/2)} - \frac{\sin \theta \dot{\theta}^2}{\frac{C}{3QA}} - \frac{1}{2\pi \rho f_m (b^3 - a^3) r C}$$

Where $C = \cos\theta_0 - \cos\theta$ and A is plasma column surface area.

Equation for neutron yield:

$$Y = N_b N_i V_{col} \sigma v_b$$

Where N_b and N_i are beam-ion number density and plasma-ion number density, V_{col} is the pinch volume, σ is cross section for DT reaction, v_b is beam-ion velocity.

Plasma-ion number density:

$$N_i = N_0 f_m \frac{2}{1 + \cos\theta}$$

Beam-ion number density:

$$N_b = \frac{f_i L I^2 f_c^2}{2eUV_{col}}$$

Where N_0 is ambient gas number density, e is the elementary charge, and U is diode voltage.

Results and Discussion

Concentric spherical plasma focus device with 432 μ F capacitor bank energy, 14.5 Torr pressure (equal amount of D-T gas mixture), and 36 nH external inductance is used in this study to investigate effect of charging voltage on neutron yield, x-rays and ion properties. The inner and outer electrode radii of SPF are 8 cm and 14.5 cm. 15-30 kV charging voltage range with 1 kV increment is used and maximum values of the investigated parameters with respect to charging voltage are given.

Figure 2 shows the maximum beam-target neutron yield for each charging voltage. While neutron yield for 15 kV charging voltage is 1.48×10^{11} neutron, it is rapidly increasing to 2.63×10^{13} neutron for 30 kV charging voltage due to the increasing beam-ion speed (Figure 5) under diode voltage (Figure 3).

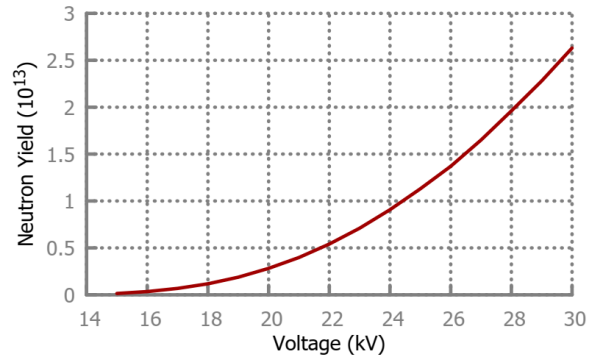


Figure 2. Beam-Target Neutron Yield

While Figure 3 shows the maximum diode voltage, which occurs due to the plasma disruption, with respect to charging voltage, Figure 4 and Figure 5 show the maximum beam-ion energy for each voltage and the corresponding maximum speed of the beam-ions which are accelerated under diode voltage and the interaction of these ions with plasma produces beam-target neutrons.

Maximum diode voltage is 15 kV for 15 kV charging voltage and it quadruples to 60 kV for 30 kV charging voltage. Since beam-ions are accelerated under this diode voltage with a speed proportional to square root of the beam-ion energy, maximum speed of beam-ions are doubled while changing charging voltage from 15 kV to 30 kV. Beam-ion speed reaches the maximum of 240 $\text{cm}/\mu\text{s}$ for 30 kV charging voltage and the corresponding maximum beam-ion energy is rapidly increasing from 15 keV to 61 keV while varying the charging voltage from 15 kV to 30 kV.

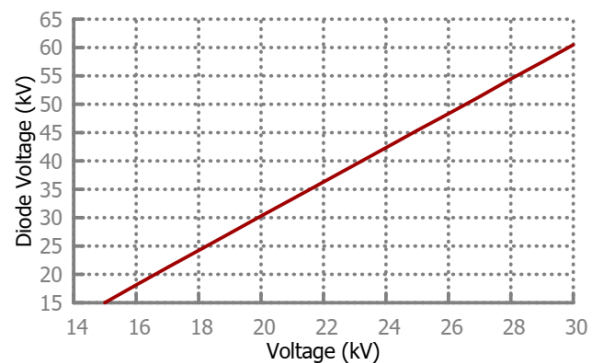


Figure 3. Diode Voltage

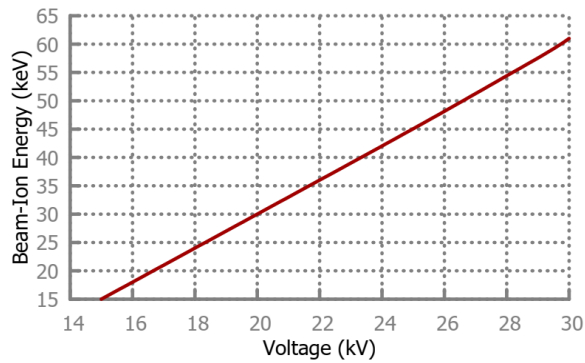


Figure 4. Beam-Ion Energy

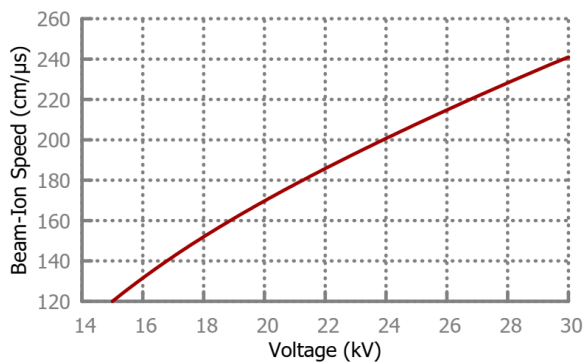


Figure 5. Beam-Ion Speed

Figure 6 shows the maximum beam-ion density for each charging voltage. Increasing charging voltage results in a decrease in maximum beam-ion density. Max beam-ion density is $7.66 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ for 15 kV charging voltage and it decreases to $6.82 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ for 30 kV charging voltage.

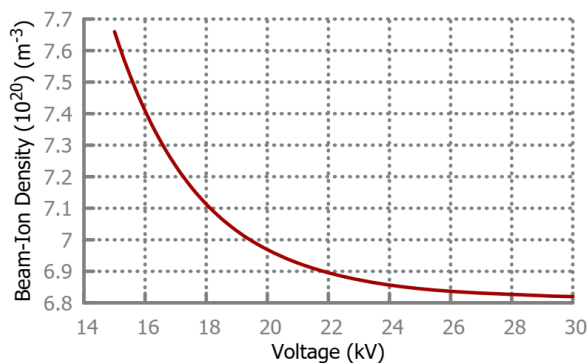


Figure 6. Beam-Ion Density

The temperature of plasma in radiative phase is shown in Figure 7. In this figure, while "Max T" represents the maximum temperature that the plasma can reach in this phase for each charging voltage, "Min T" represents the minimum

temperature of the plasma for each charging voltage. While max plasma temperature is 8.45 eV for 15 kV charging voltage and increases to 29.1 eV for 30 kV charging voltage, minimum plasma temperature is 5.06 eV for 15 kV charging voltage and increases to 18.14 eV for 30 kV charging voltage. Changing charging voltage from 15 kV to 30 kV increases maximum and minimum plasma temperatures but it also increases the difference between maximum and minimum plasma temperatures, which shows that plasma column loses more energy through radiation emissions for higher charging voltages in radiative phase.

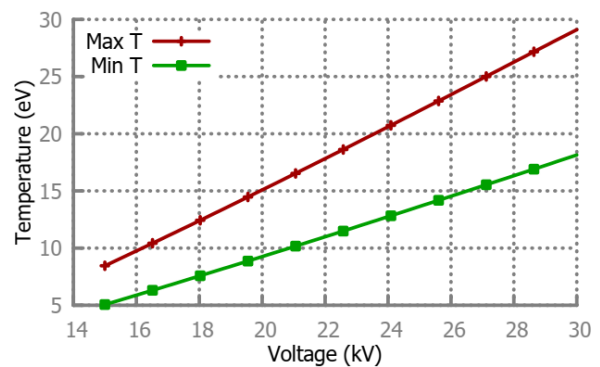


Figure 7. Plasma Temperature

While Figure 8 shows the maximum power densities for Joule heating (PJ), bremsstrahlung radiation (PBR) and line radiation (PLN), Figure 9 shows the maximum power density for radiative recombination (PREC).

The plasma energy in radiative phase is mainly influenced by power densities such that Joule heating increases the plasma energy but bremsstrahlung and line radiation, and radiative recombination decrease the energy of the plasma in this phase. In this study, radiative recombination effect is on the order of 10^8 . The effect of the Joule heating, bremsstrahlung and line radiations are on the order of 10^{11} . Max power density for radiative recombination is $1.1 \times 10^8 \text{ W/m}^3$ for 15 kV charging voltage and it increases to $2.1 \times 10^8 \text{ W/m}^3$ for 30 kV charging voltage. Varying charging voltage from 15 kV to 30 kV results in decreasing maximum Joule heating for each charging voltage from 4.4×10^{11} to $2.3 \times 10^{11} \text{ W/m}^3$ but it increases the maximum

bremstrahlung radiation (from 0.9×10^{11} to 1.8×10^{11} W/m^3) and line radiation (from 0.7×10^{11} to 5.1×10^{11} W/m^3) power densities.

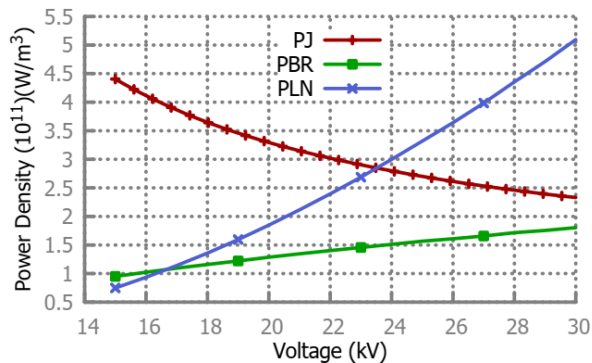


Figure 8. Joule heating, bremsstrahlung and line radiation power densities

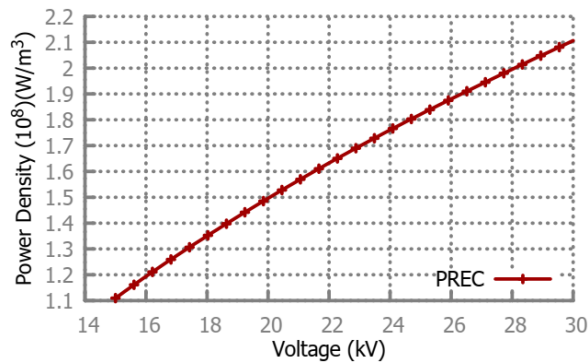


Figure 9. Radiative recombination power density

Conclusions

In this study, the main focus is to investigate the charging voltage variation effect on SPF. For that reason, maximum radiation power densities (Joule heating, bremsstrahlung and line radiation, and radiative recombination), maximum ion properties (beam-ion speed, energy, and density) and maximum neutron yields are calculated in SPF. Increasing the charging voltage results in increasing the maximum beam-ion speed and energy but decreases the maximum beam-ion density. Beam-ion energy and speed reach 61 keV and 240 cm/ μs for 30 kV charging voltage and maximum beam-ion density is decreasing from 7.66×10^{20} m^{-3} to 6.82×10^{20} m^{-3} while changing charging voltage from 15 kV to 30 kV with 1 kV increment. This voltage variation has also significant effect on the radiation power densities such that the increase in charging voltage results

in decreasing maximum Joule heating that is the mechanism for the plasma to gain energy but it increases the maximum line and bremsstrahlung radiation, and radiative recombination power densities which are the way of losing energy. Therefore, the spherical plasma focus is losing more energy for higher charging voltages in the radiative phase. The maximum beam-target neutron yield is also influenced by the voltage variation. Increasing the charging voltage from 15 kV to 30 kV leads to a rapid increase in neutron yield which is 1.48×10^{11} for 15 kV charging voltage and increased rapidly to 2.63×10^{13} for 30 kV charging voltage.

Acknowledgements

This work was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey, Project No: 119F039

References

- Castillo, F.; Milanese, M.; Moroso, R.; Pouzo, J. Evidence of thermal and non-thermal mechanisms coexisting in dense plasma focus d-d nuclear reactions. *Journal of Physics D: Applied Physics* 1999, 33 (2), 141–147.
- Gribkov, V.A.; Banaszak, A.; Bienkowska, B.; Dubrovsky, A.V.; Ivanova-Stanik, I.; Jakubowski, L.; Karpinski, L.; Miklaszewski, R.,A.; Paduch, M.; Sadowski, M.J.; Scholz, M.; Szydowski, A.; Tomaszewski, K. Plasma dynamics in the PF-1000 device under fullscale energy storage: II. fast electron and ion characteristics versus neutron emission parameters and gun optimization perspectives. *Journal of Physics D: Applied Physics* 2007, 40 (12), 3592–3607.
- Talaei, A.; S. Kiai, S.M. Study the influence of the bank energy on the dynamical pinch in plasma focus. *Journal of Fusion Energy* 2009, 28 (3), 304–313.
- Singh, A.; Sing, L.; and Saw, S.H. Effect of the variation of pressure on the dynamics and

- neutron yield of plasma focus machines. *IEEE Transactions on Plasma Science* 2017, 45 (8), 2286–2291.
5. Kubes, P.; Klir, D.; Kravarik, J.; Rezac, K.; Paduch, M.; Pisarczyk, T.; Scholz, M.; Chodukowski, T.; Bienkowska, B.; Ivanova-Stanik, I.; Karpinski, L.; Sadowski, M.J.; Tomaszewski, K.; Zielinska, E. Energy transformations in column of plasma-focus discharges with megaampere currents. *IEEE Transactions on Plasma Science* 2012, 40 (2), 481–486.
 6. Shaw, B.H.; Chapman, S.; Cooper, C.M.; Goyon, C.; Angus, J.; Link, A.; Higginson, D.P.; Liu, J.X.; Mitrani, J.M.; Podpaly, Y.A.; Povilus, A.; Schmidt, A. Maximizing neutron yields by scaling hollow diameter of a dense plasma focus anode. *Journal of Applied Physics* 2018, 124 (23), 233301.
 7. Kubes, P.; Paduch, M.; Cikhardt, J.; Cikhardtova, B.; Klir, D.; Kravarik, J.; Rezac, K.; Zielinska, E.; Sadowski, M.J.; Szymaszek, A.; Tomaszewski, K.; Zaloga, D. Increase in the neutron yield from a dense plasma-focus experiment performed with a conical tip placed in the centre of the anode end. *Physics of Plasmas* 2017, 24 (9), 092707.
 8. Talukdar, N.; Borthakur, S.; Neog, N.K.; Borthakur, T.K. Comparative study of neutron emission from a plasma focus device using two different anode shapes. *Physics of Plasmas* 2016, 23 (5), 052711.
 9. Habibi, M.; Mahtab, M. Experimental study of soft x-ray intensity with different anode tips in amirkabir plasma focus device. *Pramana* 2016, 87 (1).
 10. Roomi, A.; Saion, E.; Habibi, M.; Amrollahi, R.; Baghdadi, R.; Etaati, G.R.; Mahmood, W.; Iqbal, M. The effect of applied voltage and operating pressure on emitted x-ray from nitrogen (n₂) gas in APF plasma focus device. *Journal of Fusion Energy* 2011, 30 (5), 413–420.
 11. Ay, Y.; Al-Halim, M.A.; Bourham, M.A. Simulation of the plasma sheath dynamics in a spherical plasma focus, *The European Physical Journal D* 2015, 60 (9).
 12. Ay, Y.; Al-Halim, M.A.; Bourham, M.A. MHD simulation for neutron yield, radiations and beam-ion properties in the spherical plasma focus. *Journal of Fusion Energy* 2015, 35 (2), 407–414.
 13. Ay, Y. A neutron source with 10¹⁴ DT neutron yield, *International Journal of Modern Physics E* 2020. DOI:10.1142/S0218301319500976
 14. Ay, Y. Effect of the cathode radius on plasma dynamics and radiation emissions in a spherical plasma focus device, *Physics of Plasmas* 2019, 26(10) 102506.

Smart EEG Tasarımı

Design of Smart EEG

İbrahim DURSUN^{1*}, Mehmet AKIN², M. Ali ARSERİM³

¹ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, ibrahimdursun02@gmail.com, ORCID 0000-0003-4689-1972

² Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, makin @dicle.edu.tr

³ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, marserim @dicle.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 3 Şubat 2020
Düzeltilme: 5 Mart 2020
Kabul: 6 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

BBA, DSP, KNN, DVM

ÖZET

Beyin bilgisayar arayüzü (BBA) yaygın olarak Elektroensefalografi (EEG) sinyal tabanlı olup insan beyni ile bilgisayar arasında iletişim kurmayı sağlar. Günümüzde BBA tekniği ile hastalık teşhisi, engellilerin yaşam konforunu yükseltme, eğlence gibi birçok alanda çalışma yapılmaktadır. Bilgisayar ve nöroloji bilimindeki gelişmeler birçok araştırmacıyı bu alana yöneltmekte ve yaşam standartlarının artmasıyla her geçen gün BBA ile ilgili çalışmalar daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, basit bir program arayüzü ile Epilepsi ve Şizofreni hastalığı, Uyku-Uyanıklık durumu ve Sağ-Sol imleç hareketinin tespiti çıktı olarak gösterilmesi hedeflenmektedir. Bu dört farklı durumun en yakın komşu (KNN) ve destek vektör makinaları (DVM) modelleri oluşturulup doğruluk oranı yüksek olan model bir dijital sinyal işleme (DSP) kartına yüklenerek offline veya online bir şekilde tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada Matlab Simulink, Matlab GUI ve TMS320F28335 DSP kartı kullanılarak modeller DSP’de işlenip sonuçlar bu program arayüzünde gösterilmiştir. Bu BBA sistemi farklı hastalık veya durumların EEG sinyallerini sınıflandırma sonucu tek bir uygulama ile kullanıcıya göstermektedir.

Doi: 10.24012/dumf.683519

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 February 2020
Revised: 5 March 2020
Accepted: 6 March 2020

Keywords:

BCI, DSP, KNN, SVM

ABSTRACT

The brain computer interface (BBA) is widely Electroencephalography (EEG) signal-based and enables communication between the human brain and the computer. Nowadays, with BBA, disease diagnosis, increasing the life comfort of the disabled, entertainment, etc. work is done in many fields. Developments in computer science and neurology have directed many researchers to this field and with the increase of living standards, studies related to BBA are gaining more importance day by day. In this study, it is aimed to show Epilepsy and Schizophrenia disease, Sleep - Awake status and Right - Left cursor movement with a simple program interface. These four different situations, k nearest neighbor (KNN) and support vector machines (SVM) models were created and the model with high accuracy was uploaded to a digital signal processing (DSP) card and tried to be detected offline or online. In the study, using Matlab Simulink, Matlab GUI and TMS320F28335 DSP card and models are processed in DSP the results are shown in this program interface. This BBA system classifies the EEG signals of different diseases or conditions and shows the result to the user with a single application.

* Sorumlu yazar / Correspondence

İbrahim DURSUN

✉ ibrahimdursun02@gmail.com

Giriş

BBA nöroloji biliminin özel bir alanını oluşturmaktadır. Bu alan Zihinsel süreçlerde oluşan değişimleri anlamlandırıp insan bilgisayar iletişimi için arayüzler geliştirmeyi amaçlayan bir araştırma alanıdır [1]. BBA araştırmalarının bir kısmı, nöronlar arasındaki değişimlere direkt iletişim ve kontrol metotları geliştirmek üzerine yoğunlaşırken, Araştırmanın diğer bir kısmı algılayıcılarla elde edilen görme veya duyum verilerinin beyin ve beyindeki nöral sistemleri doğrudan elde ederek fonksiyonel olmayan duyu organlarının eksikliklerini gideren yöntemler üzerine yoğunlaşmaktadır.

İlk BBA çalışmalarına 1960'lı yıllarda rastlanmaktadır. Fetz vd. [2] tarafından, bireyler üzerinde yapılan deneylerde nöral aktivitelerin anlamlandırılabilceği gösterilmiştir. Diğer bir çalışmada ise S. Sutton vd.[3] bireyin bir uyarıcıya odaklandığında uyarı geldikten 300-500 ms sonra cevap olarak beynin yan lobunun EEG sinyalinde büyük bir sapma olduğunu keşfetmişlerdir. Bu olay-ilişkili potansiyel (event-related potential, ERP) diye adlandırılan buluş kullanılarak, felçli insanlardan “evet-hayır” olarak ayrılan sinyalleri algılamak için 1980-1990 yılları arasında bir yöntem olarak önerilmiştir.[4] P300 çözücü olarak adlandırılan bu yöntemde, harfler sırayla gösterilip birey tarafından dikkat verilen harfleri P300 sistemi kullanılmak suretiyle belirleyip, bireyin söylemek istediği kelime ve cümleler ortaya çıkarılmıştır. [5]

2000'li yıllardan sonra ise BBA çalışmaları hız kazanmış olup birçok araştırmacı bu alanda farklı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar ihtiyaca göre EEG verileriyle birlikte başka veri türleri de kullanılarak amaca yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Örençin; J. Klonovs vd.[6] bir kimlik doğrulama sisteminde, yüz tanıma ve yakın alan iletişimi (NFC, Near Field Communication) gibi teknolojilerle birlikte EEG kayıtlarını kullanarak bir mobil biyometrik kimlik doğrulama sistemi geliştirmeye çalışırken, Hastalık teşhisinden Epilepsi hastalığının tespit edilmesi için Kaya vd. [7] yapay sinir ağlarını kullanarak kişilerin sağlıklı

veya epilepsi hastası olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Sürücülerde uyku halini tespit etmek ve uyku halinde artan alfa frekansını tespit etmek için Seda vd. [8] EEG sinyallerini kullanarak LabVIEW yazılımıyla grafiksel kullanıcı arabirimi oluşturmuşlardır. Çalışmalarında 19 kanal kullanmış olup, bu kanallardan en iyi sonuç alınan kanalları belirlemişlerdir. Yine BBA ve makine öğrenmesini kullanarak Mehmet [9] EEG sinyalleri ile insansız hava aracını kontrol etmeye çalışmışlardır. Sinyaller EEG algılayıcı kulaklık ile alınıp bluetooth ile aktarılmıştır. Bu sinyaller C# yazılımıyla bilgisayar ortamına alınmış ve sonuçlar Matlab ortamında %78 başarı oranıyla elde etmiştir. Diğer bir çalışmada ise Priyanka vd. [10] bir EEG algılayıcı kulaklığı ile BBA sistemi geliştirerek, insan göz hareketlerinin dikkat ve odaklanma değerlerine göre %95 doğrulukla bir tekerlekli sandalyenin dinamik olarak kontrolünü sağlamışlardır. Yukarıdaki çalışmalarda noninvazif yöntem uygulanmış olup insan vücuduna herhangi bir yan etkisi bulunmamaktadır. Fakat invazif yöntemler ciddi cerrahi müdahale gerektirip zamanla dokuda yaralara ve sinyal kalitesinin düşmesine sebep olabilmektedir. Noninvazif yöntemle elde edilen veriler kullanılarak yapılan bu çalışmamızın kullanıcılara herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır.

Bu çalışmada, EEG sinyalleri ile 4 farklı durumun online veya offline bir şekilde tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Offline çalışmada veriler daha önce elde edilmiş olup Offline Veri butonu aracılığıyla bilgisayar ortamında sisteme aktarılıp sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Online çalışmada ise veriler sensör aracılığıyla gerçek zamanlı olarak elde edilip sisteme aktarılıp sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. BBA kullanıcı grafik arayüzü oluşturularak uyku – uyanıklık, epilepsi şizofreni hastalığı ve sağ-sol imleç hareketi verileri sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırılmış, sonuçlar bu arayüzde gösterilmiştir. Makine öğrenme yöntemleri olarak DVM ve KNN sınıflandırma yöntemleri birlikte kullanılarak sistemin performansı kıyaslanmaya çalışılmıştır. KNN sınıflandırmasında her durum için farklı komşu sayısı ve uzaklık ölçütü belirlenirken, DVM

sınıflandırmasında RBF/Gaussian çekirdeği ve ödünleme değeri 0.5 seçilerek en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada Kullanılan Materyaller

Çalışmada 4 farklı veri seti kullanılmıştır. Uyku tespiti için kullanılan veri seti, Ankara Gülhane Askeri Tıp Akademisi Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Uyku Laboratuvarında tedavi gören bazı deneklerden alınmıştır. Verinin kayıt işlemlerinde gümüş yüzey elektrotlar kullanılmış ve bu elektrotlar C3-A2 standart yerleşimi esas alınarak deneklere uygulanmıştır. Veriler 150 Hz örnekleme frekansında bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler 10 sn'lik bölümler halinde gruplandırılmış ve bu bölümlere güç yoğunluk spektrumu uygulanarak REM ile NREM evreleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Epilepsi hastalığı tespiti için Bonn Üniversitesi Epileptoloji Bölümü tarafından sağlanan veri setleri kullanılmıştır. 5 farklı sınıftan oluşan (A,B,C,D,E) bu veri seti 23,6 saniye ve 100 örnekten oluşmaktadır. Örnekleme frekansı 173,61 Hz ve her bir veri 4096 tane değer içermektedir. A ve B bölümüne ait veriler sağlıklı bireylerden sırasıyla gözü açık ve kapalı durumda alınmış olan verilerdir. C bölümüne ait veriler ise epileptojenik bölgenin karşısına yerleştirilen elektrotla nöbet halinde olmadıkları anda alınmıştır. D sınıfına ait veriler nöbet öncesi epileptojenik bölgeden alınmıştır. E bölümüne ait veriler ise nöbet sırasında alınmıştır. Bu çalışma ile sağlıklı ve hasta olan bireylerin tespiti yapıldığından dolayı A ve E bölümüne ait veriler kullanılmıştır.

Şizofreni hastalığı tespiti için Açık Öğrenme platformu adı altında Polonyalı CEONREPOD internet sitesinden elde edilmiştir. Paranoid şizofreni tanısı konulmuş 14 hasta ve 14 sağlıklı kontrol grubundan oluşan bu veri seti 19 kanallı 10-20 standardına uygun olarak 250 Hz örnekleme frekansıyla alınmıştır. Hastalıklı grup (7 erkek: $27,9 \pm 3,3$ yıl, 7 kadın $28,3 \pm 4,1$ yıl) ve kontrol grubu (7 erkek: $26,8 \pm 2,9$, 7 kadın $28,7 \pm 3,4$ yıl)'dan oluşmaktadır. Hastalar paranoid şizofreni için Uluslararası Hastalık Sınıflandırması ICD-10 kriterlerini karşılamaktadırlar. Hastalarda şizofreni dışında

hamilelik, organik beyin patolojisi, ciddi nörolojik hastalıklar (Epilepsi, Alzheimer veya Parkinson vb.) görülmemiştir.

Sağ-Sol imleç hareketi tespiti için 2008 de Graz Üniversitesi tarafından yapılan yarışmada (BCI Competition 2008) kullanılan veri seti kullanılmıştır. 9 farklı denekten alınan EEG verilerini içermektedir. Veriler 250 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. 22 EEG ve 3 EOG kanalından kaydedilen veriler 0,5 Hz ve 100 Hz spektral aralığı kapsayacak şekilde bandpass filtreden geçirilip ayrıca şebeke frekansından arındırmak için 50 Hz'lik Notch filtresi kullanılmıştır. Çalışmada EEG verilerinden sağ ve sol el imleç hareketlerini içeren denemeler çekilmiştir. Dolayısıyla sonuçlarda sağ el motor hayali ve sol el motor hayalinin sonuçları elde edilmiştir.

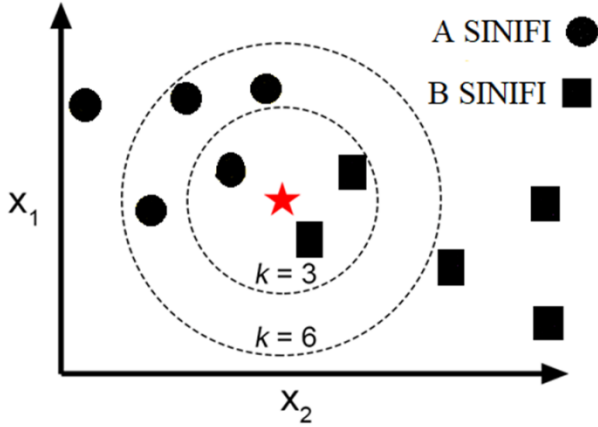
Oluşturulan modellerin çalıştırılması için Texas Instruments firmasının TMS320F28335 DSP uygulama geliştirme kartı kullanılmıştır. Çok amaçlı kullanılabilen bu uygulama kartı, TI C2000 DSP çekirdek ailesine ait 32 bit kayan noktalı (floating-point), 150 MHz gücünde işlem yapabilen TMS320F28335PGFA DSP yongası kullanılarak tasarlanmıştır. Bu Dijital Sinyal İşleme (DSP) kartı, 18 adet motor kontrol ve genel amaçlı PWM, 6 adet sinyal yakalama (CAP) ve 2 adet enkoder (QEP), 3 adet UART (SCI), 2 adet McBSP seri haberleşme protokolü, 88 adet genel amaçlı giriş-çıkış (I/O) birimi, 16 adet 12 bit 25,5 Mhz örnekleme hızında ADC, 3 adet 32 bit Timer, 1 adet 6 kanallı DMA(Direct Memory Acces) birimi ve 1 adet 32 veya 16 bit EMIF (External Memory Interface) çevresel birimlerine sahiptir.

Çalışmada Uygulanan Metotlar

K en yakın komşu (KNN) sınıflandırma algoritması

KNN algoritması, mevcut durumları saklayıp benzerlik ölçüsüne göre yeni durumları sınıflandıran basit bir algoritmadır. Bu algoritma ile temel olarak sınıflandırılacak verinin komşularıyla olan mesafesine bakıp, en uygun etiket ile sınıflandırma işlemi yapılabilmektedir. Kendisine en yakın olan sınıfı belirlemek için bir k değişkeni kullanan

algoritma, sonuçları bu k değişkenine göre tahmin eder.



Şekil 1 KNN sınıflandırma algoritması grafik gösterimi

Şekil 1’de görüldüğü üzere X1 ve X2 verileri bulunmaktadır. Bu veriler A (Yuvarlak) ve B (Kare) olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Daha önce A ve B sınıfına ayrılmış olan X1 ve X2 verilerine bakarak kırmızı renkli yıldızın hangi sınıfa ait olduğunu tahmin edebiliriz. KNN algoritmasının isminden de anlaşılacağı üzere yeni bir verinin hangi sınıfa ait olduğunu bulmak için çevresindeki verilerin mesafelerine bakmamız gerekir. Örneğin k değerini 3 olarak belirlediğimizde kendisine en yakın olan 2 kare ve bir tane yuvarlak olduğunu görmekteyiz. Böylelikle k=3 olduğunda yıldızın B sınıfına ait olduğuna karar vermiş oluruz. K değerini 6 olarak seçtiğimizde ise yıldıza en yakın 4 tane yuvarlak ve 2 tane kare olduğunu görmekteyiz. Bu durumda ise yıldızın A sınıfına ait olduğuna karar veririz. Komşu sayısının doğru seçilmesiyle hatayı en aza indirebiliriz. KNN sınıflandırma algoritmasında uzaklık hesaplamaları için genellikle 3 tip uzaklık fonksiyonu kullanılmaktadır. Bunlar;

- Euclidean Uzaklığı
- Manhattan Uzaklığı
- Minkowski Uzaklığı’dır.

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

$$\text{Manhattan} = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \quad (2)$$

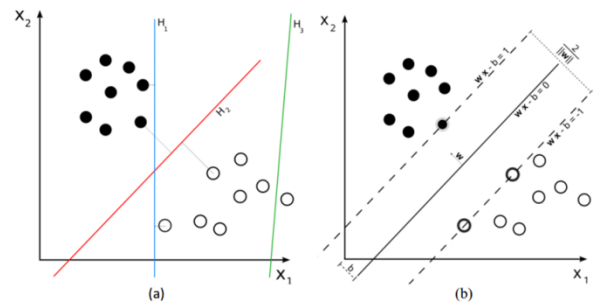
$$\text{Minkowski} = (\sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|^q))^{1/q} \quad (3)$$

Uzaklık fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri ise (1) – (3) denklemlerinde verilmiştir.

Destek vektör makinaları (DVM) sınıflandırma algoritması

DVM algoritması, sınıflandırmada kullanılan bir denetimli öğrenme yöntemidir. Bu sınıflandırma yöntemi oldukça etkili ve basit bir algoritmadır. DVM’nin temelinde istatistiksel öğrenme teorisi ve yapısal risk minimizasyonu bulunmaktadır. DVM’nin tarihine baktığımızda, geçmişinin 1936 yıllarında R.A.Fisher’in örüntü tanıma problemlerine çözüm arayışına kadar dayandığını görmekteyiz.

DVM algoritmasında sınıflandırma işlemi nesnelerin -1 ve 1 olarak etiketlenmesine dayanır. DVM, sınıflandırma için bir düzlemde bulunan iki grup arasında bir sınır çizerek verileri iki gruba ayırmaya çalışır. Bu sınır çizgisi iki gruba en uzak mesafede olmalıdır. Şekil 2’de gösterildiği gibi pozitif ve negatif verileri birbirinden ayıran aşırı bir düzlem olsun. Bu düzlem üzerindeki noktalar $wx+b=0$ denklemini sağlayacaktır. Burada yer alan w aşırı düzleme olan normal ve $|b|/||w||$ aşırı düzleme olan dik uzaklıktır. Aşırı düzleme en yakın pozitif ve negatif veriler arasındaki mesafeye, ayırıcı aşırı düzlemin “tolerans”ı dersek, DVM bu toleransın en yüksek olduğu bir aşırı düzlemi bulmaya çalışır.



Şekil 2 (a) Toleransın belirlenmesi, (b) Grupların düzlemde gösterilmesi

Bu düzlemin bulunması için iki veri kümesine de yakın ve birbirine paralel iki sınır çizgisi çizilir. Bu iki sınır çizgisine paralel ve eşit mesafede ortak sınır çizgisi çizilerek veriler sınıflandırılır. Şekil 2'deki düzlemde her bir noktanın tanımı (4)'deki denklemle yapılabilir.

$$D = \{(x_i, c_i) | x_i \in \mathbb{R}^p, c_i \in \{-1, 1\}\}_{i=1}^n \quad (4)$$

Geliştirilen sistemin akış şeması Şekil 3'te gösterilen adımlardan oluşmaktadır.

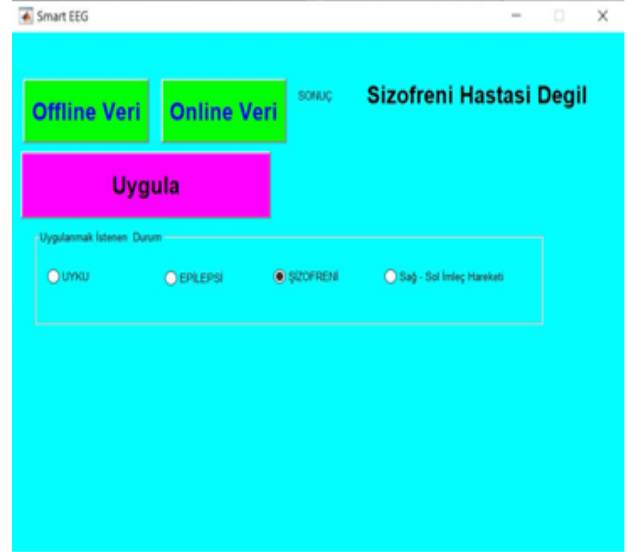


Şekil 3 BBA Sisteminin yapısı

Şekil 3'te görüldüğü üzere EEG verileri öncelikle filtrelenmektedir. Filtre ile gürültüden arındırılan verilerin boyutunu küçültmek için bir takım istatistiksel yöntemlerle (ortalama, medyan, çarpıklık, basıklık, entropi ve standart sapma) özellik vektörleri elde edilmektedir. Özellik vektörü elde edildikten sonra sinyalin DSP kartında yüklü olan modelin girişine verilmek suretiyle elde edilen sonuçlar, geliştirmiş olduğumuz arayüz programında gösterilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada EEG tabanlı bir BBA sistemi tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu sistemde Matlab GUI ortamında bir kullanıcı grafik arayüzü oluşturulup, buton yardımı ile seçilen veriler DSP kartına gönderilerek sınıflandırılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi program arayüzü oldukça sadedir. Sınıflandırılmak istenen veri offline veya online veri butonlarından biri ile seçildikten sonra program aracılığı ile seçili modelin girişine verilmekte ve uygula butonuna basıldıktan sonra sonuç yazılı olarak arayüz programında gösterilmektedir. Çalışmadaki amaç EEG yöntemiyle hastalık veya diğer durumların tespitini yapmada karmaşıklıktan kurtulmak ile online veya offline bir şekilde verileri işleyip kullanım kolaylığı sağlamaktır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar farklı başlıklar altında Hata (Confusion) Matrisleri ve performans değerleri şeklinde verilmiştir.



Şekil 4 BBA sistemi kullanıcı arayüzü

Uyku verisi için sonuçlar

Uyku verilerine KNN algoritmasında k komşu sayısı 3 seçilmiş olup uzaklık ölçütü Öklid (Euclidean) olarak belirlenmiştir. DVM algoritması için RBF/Gaussian çekirdeği kullanılmıştır. KNN sınıflandırma sonuçları Hata (Confusion) Matrisi şeklinde tablo 1'de DVM sonucu ise tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1 Uyku ve uyanıklık verilerinin KNN algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Uyku	Uyanıklık
Gerçek	Uyku	18	2
	Uyanıklık	0	20

Tablo 2 Uyku ve uyanıklık verilerinin DVM algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Uyku	Uyanıklık
Gerçek	Uyku	19	1
	Uyanıklık	0	20

Uyku ve Uyanıklık verilerinin sınıflandırılmasına ilişkin Doğruluk (Accuracy), Duyarlılık (Sensitivity), Özgüllük (Specificity), Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve F-Skor (F-Score) performans parametreleri tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Uyku verisi için sınıflandırma algoritmalarının performans değerleri

	DVM	KNN
Doğruluk	0.97	0.95
Duyarlılık	0.95	0.9
Özgüllük	1	1
Kesinlik	1	1
Duyarlılık (Recall)	0.95	0.9
F-Skor	0.97	0.95

Tablo 3'te görüldüğü üzere Uyku-Uyanıklık tespiti %97 oranla en yüksek doğruluk değeri DVM sınıflandırıcısıyla elde edilmiştir. Bu sınıflandırma modelinin Simulink modeli oluşturulup DSP kartına yüklenmiştir.

Epilepsi verisi için sonuçlar

Epilepsi verilerine KNN algoritmasında k komşu sayısı 3 seçilmiş olup uzaklık ölçütü Öklid olarak belirlenmiştir. DVM algoritmasında ise RBF/Gaussian çekirdeği kullanılmıştır. Epilepsi verisi KNN sınıflandırma sonuçları Hata (Confusion) Matrisi şeklinde tablo 4'de, DVM sonucu ise tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 4 Epilepsi verisi için hastalıklı ve sağlıklı verilerin KNN algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	100	0
	Sağlıklı	4	96

Tablo 5 Epilepsi verisi için hastalıklı ve sağlıklı verilerin DVM algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	100	0
	Sağlıklı	0	100

Epilepsi verisi için değerlendirme sonucu ise Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6 Epilepsi verisi için sınıflandırma algoritmalarının performans değerleri

	DVM	KNN
Doğruluk	1	0.98
Duyarlılık	1	1
Özgüllük	1	0.96
Kesinlik	1	0.96
Duyarlılık (Recall)	1	1
F-Skor	1	0.98

Tablo 6'da görüldüğü üzere DVM sınıflandırıcısıyla, Epilepsi hastalığının %100

tespiti yapılarak en yüksek doğruluk değeri elde edilmiştir. Bu sınıflandırma modeli ile Simulink modeli oluşturulup DSP kartına yüklenmiştir.

Şizofreni Verisi İçin Sonuçlar

Şizofreni verilerine KNN algoritmasında k komşu sayısı 2 seçilmiş olup uzaklık ölçütü Öklid olarak belirlenmiştir. DVM algoritmasında ise RBF/Gaussian çekirdeği kullanılmıştır. Şizofreni verisi konusunda KNN sınıflandırma sonuçları Hata (Confusion) Matrisi şeklinde tablo 7’de, DVM sonucu ise tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 7 Şizofreni verisi için hastalıklı ve sağlıklı verilerin KNN algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	11	3
	Sağlıklı	2	12

Tablo 8 Şizofreni verisi için hastalıklı ve sağlıklı verilerin DVM Algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	14	0
	Sağlıklı	1	13

Şizofreni verisi için değerlendirme sonucu ise Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9 Şizofreni verisi için sınıflandırma algoritmalarının performans değerleri

	DVM	KNN
Doğruluk	0.96	0.84
Duyarlılık	1.00	0.79
Özgüllük	0.91	0.89
Kesinlik	0.92	0.87
Duyarlılık (Recall)	1.00	0.79
F-Skor	0.96	0.83

Tablo 9’da görüldüğü üzere DVM sınıflandırıcısı ile Şizofreni hastalığının %96 oranla tespiti yapılarak en yüksek doğruluk değeri elde edilmiştir. Bu sınıflandırma modeli ile Simulink modeli oluşturulup DSP kartına yüklenmiştir.

Sağ – sol imleç hareketi verisi için sonuçlar

KNN algoritmasında Sağ-Sol imleç hareketi verilerine k komşu sayısı 3 seçilmiş olup uzaklık ölçütü Öklid olarak belirlenmiştir. KNN sınıflandırma sonuçları Hata (Confusion) Matrisi şeklinde tablo 10’da, DVM sonucu ise tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 10 Sağ – sol imleç hareketi verisi için verilerin KNN algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	69	3
	Sağlıklı	7	65

Tablo 11 Sağ – sol imleç hareketi verisi için verilerin DVM algoritması ile sınıflandırılması sonucu elde edilen hata matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	69	3
	Sağlıklı	9	63

Şizofreni verisi için değerlendirme sonucu ise Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12 Sağ – sol imleç hareketi verisi için sınıflandırma algoritmalarının performans değerleri

	DVM	KNN
Doğruluk	0.91	0.93
Duyarlılık	0.95	0.95
Özgüllük	0.87	0.90
Kesinlik	0.88	0.90
Duyarlılık (Recall)	0.95	0.95
F-Skor	0.92	0.93

Tablo 12’de görüldüğü üzere Sağ – Sol imleç hareketi tespiti %93 oranla en yüksek doğruluk değeri KNN sınıflandırıcısıyla elde edilmiştir. Bu sınıflandırma modelinin Simulink modeli oluşturulup DSP kartına yüklenmiştir.

Tartışma

Bu çalışmada EEG verileri kullanılarak Epilepsi, Şizofreni, Uyku-Uyanıklık, Sağ-Sol imleç hareketlerinin tespiti KNN ve DVM sınıflandırma yöntemleri kullanılarak yapılmış olup elde edilen modeller bir DSP kartına yüklenmiş ve sonuçlar bir kullanıcı arayüzünde gösterilmiştir.

Literatürü incelediğimizde araştırmacılar yapılan çalışmalarda tek bir durum üzerine yoğunlaşırken bu çalışmada farklı durumları bir araya getirerek basit bir arayüz aracılığıyla sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmadaki amaç farklı durumları tek bir program aracılığıyla işleyip DSP yardımıyla taşınabilir hale getirmektir.

Kaynaklar

- [1] Murat Kaya, Mustafa Cömert, Yuriy Mishchenko, “Beyin Bilgisayar Arayüzü için DVM Makine Öğrenme Yöntemi Kullanılarak EEG Verilerinden Sağ ve Sol El Hareket Düşüncülerinin Tespiti”, TÜBAV Bilim 10 (3) 2017 s.1-20.
- [2] E. E. Fetz, “Operant conditioning of cortical unit activity.”, Science, c. 163, sayı 3870, ss. 955–8, 1969.
- [3] S. Sutton, M. Braren, J. Zubin, ve E. R. John, “Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty”, Science (80-.), c. 150, sayı 3700, s. 1187, 1965.
- [4] E. Donchin, K. M. Spencer, ve R. Wijesinghe, “The mental prosthesis: Assessing the speed of a P300-based brain- computer interface”, IEEE Trans. Rehabil. Eng., c. 8, sayı 2, ss. 174–179, 2000.
- [5] L. A. Farwell ve E. Donchin, “Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing eventrelated brain potentials”, Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., c. 70, sayı 6, ss. 510–523, 1988.
- [6] Development of a Mobile EEG-based Biometric Authentication System. J. Klonovs, C. Kjeldgaard Petersen, H. Olesen, A. Hammershøj.
- [7] Kaya, D., Türk, M., (2017). Biyoelektiriksel İşaretlerde Rahatsızlık Teşhisinin Yorumlanması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1),261-267.
- [8] Seda GÜZEL, Turgay KAYA, Hasan GÜLER,” Uyku Evrelerinin Belirlenmesinde EEG Sinyallerinin LabVIEW Tabanlı Analizi”, SiU-2015 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Mayıs 2015.
- [9] Mehmet Demir, “Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak EEG sinyalleri ile İnsansız Hava Aracı Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 2019
- [10] Priyanka D. Girase, M. P. Deshmukh, (2015). Mindwave Device WheelchairControl, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online):2319-7064 Index Copernicus Value (2013): 6.14 | Impact Factor (2015): 6.391.

Meme Kanseri Tümörlerinin Radar Tabanlı Mikrodalga Tekniği ile Görüntülenmesinde Bant Genişliğinin Çözünürlüğe Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Bandwidth on the Resolution of Breast Cancer Tumors Image in Radar-Based Microwave Technique

Hüseyin Özmen^{1*}, M. Bahaddin Kurt²

¹ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, huseyin.ozmen@dicle.edu.tr

² Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, bkurt@dicle.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 10 Şubat 2020

Düzeltilme: 25 Şubat 2020

Kabul: 25 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

Mikrodalga görüntüleme, meme kanseri, radar, bant genişliği

ÖZET

Meme kanseri tümörlerinin erken evrede görüntülenmesinde kullanılan mevcut görüntüleme tekniklerinin bazı dezavantajları, radar tabanlı mikrodalga görüntüleme yönteminin güçlü bir alternatif olarak doğmasını sağlamıştır. Bu yöntemde, verici antenden gönderilen Gauss darbe sinyali memeye nüfuz etmekte ve geri saçılan sinyaller alıcı anten tarafından kaydedilmektedir. Kaydedilen bu sinyaller, çeşitli sinyal işleme aşamalarından geçirildikten sonra görüntüye dönüştürülmektedir. Görüntünün çözünürlüğünü belirleyen en önemli faktörlerden biri de antenin bant genişliğidir. Bant genişliği, verici anten tarafından gönderilen Gauss darbe sinyalinin süresini belirlemektedir. Bant genişliği arttıkça Gauss darbe sinyali kısalmakta, bant genişliği azaldıkça darbe sinyali uzamaktadır. Bu çalışmada 3-11 GHz arasında farklı bant genişliği kombinasyonlarının tümör görüntüsünün çözünürlüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 3-5 GHz, 5-7 GHz, 7-9 GHz, 9-11 GHz, 3-7 GHz, 7-11 GHz ve 3-11 GHz frekans aralığında farklı Gauss darbe sinyalleri ile görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonunda, en yüksek görüntü çözünürlüğünün, en yüksek bant aralığı olan 3-11 GHz aralığında elde edildiği görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.687422

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 February 2020

Revised: 25 February 2020

Accepted: 25 February 2020

Keywords:

Microwave imaging, breast cancer, radar, bandwidth

ABSTRACT

Some disadvantages of existing imaging techniques used in the early stage imaging of breast cancer tumors have led to the emergence of the radar-based microwave imaging method as a powerful alternative. In this method, the Gaussian pulse signal sent from the transmitting antenna penetrates the breast and the backscattered signals are recorded by the receiving antenna. These recorded signals are converted into images after passing through various signal processing stages. One of the most important factors that determine the resolution of the image is the bandwidth of the antenna. The bandwidth determines the duration of the Gauss pulse signal sent by the transmitting antenna. The pulse signal gets shorter as the bandwidth increases, and the pulse signal gets longer as the bandwidth decreases. In this study, the effects of different bandwidth combinations between 3-11 GHz on the resolution of the tumor image were investigated. Imaging was performed with different Gauss pulse signals in the frequency range of 3-5 GHz, 5-7 GHz, 7-9 GHz, 9-11 GHz, 3-7 GHz, 7-11 GHz and 3-11 GHz. At the end of the study, it was seen that the highest image resolution was obtained in the range of 3-11 GHz, which is the highest bandwidth range.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Hüseyin ÖZMEN

✉ huseyin.ozmen@dicle.edu.tr

Giriş

Dünyada meme kanseri kadınlar arasında kanser türleri arasında en ölümcül olan türdür. Hayatta kalma oranı hastalığın erken evrede tespiti ile yükselmektedir [1]. Günümüzde meme kanserinin tespiti için en çok kullanılan yöntem X-ray mamografidir. Bu yöntem tümörlerin görüntülenmesi için iyonize edici ışınlar kullanılmaktadır ve bu durum yeni kanserler oluşturma riskine sahiptir. Ayrıca memeye uygulanan baskı ağrıya sebep olmaktadır [2].

Son yıllarda araştırmacılar, meme kanserinin erken evrede tespiti için zararsız, ucuz ve konforlu bir yöntem olan mikrodalga görüntüleme tekniği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan araştırmalarda mikrodalga frekanslarında tümörlü dokunun dielektrik sabitinin sağlıklı yağ dokusununkinden daha büyük olduğu görülmüştür [3], [4]. Bu sayede memeye mikrodalga frekanslarında bir sinyal gönderildiğinde, farklı olarak tümörden bir sinyal geri saçılmaktadır. Tümörden saçılan bu sinyal gerekli teknikler uygulanarak görüntüye dönüştürülmektedir.

Mikrodalga görüntüleme tekniği kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; aktif ve pasif yöntemlerdir. Aktif yöntemlerden biri radar tabanlı görüntüleme tekniğidir. 2002 yılında FCC'nin [5] 3.1 – 10.6 GHz frekans bandının lisanssız kullanımına izin vermesiyle çok geniş bantlı anten tasarımı ve radar tabanlı mikrodalga görüntüleme tekniği ile ilgili çalışmalarda büyük artış olmuştur. Radar tabanlı görüntüleme tekniğinde anten tarafından memeye uyarım sinyali olarak Gauss darbe sinyali gönderilmektedir. Gauss darbe sinyalinin süresi antenin bant genişliğine göre değişmektedir. Literatürdeki çalışmalara göre anten bant genişliğinin artması darbe sinyalinin kılmasını sağlamakta bu da görüntü çözünürlüğünü arttırmaktadır [6].

Bu çalışmada, radar tabanlı mikrodalga görüntüleme tekniğinde anten bant genişliğinin ve alt çalışma frekansının meme kanseri tümörü görüntülerinin çözünürlüğünü nasıl etkilediği detaylı bir şekilde sunulmuştur. Mikrodalga görüntüleme sistemi CST Microwave Studio

programı kullanılarak simülasyon ortamında oluşturulmuştur. Meme, yarım küre şeklinde tasarlanmış ve içerisine farklı noktalarda 1 mm yarıçaplı küresel üç adet tümör konumlandırılmıştır. Meme dokularının elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için tek kutuplu Debye modeli kullanılmıştır. Meme etrafında dairesel olarak 12 ayrı noktada zaman domeninde mono-statik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Verici anten tarafından memeye Gauss darbe sinyali gönderilmiş ve geri saçılan sinyal aynı anten tarafından alınmıştır. Kaydedilen sinyaller filtrelendikten sonra geciktir ve topla (Delay-and-Sum) algoritması kullanılarak iki boyutlu görüntüler oluşturulmuştur. Gauss darbe sinyali süresinin görüntü çözünürlüğüne etkisinin ortaya çıkarılması için tümörlü meme, anten çalışma aralığı 3-5 GHz, 5-7 GHz, 7-9 GHz, 9-11 GHz, 3-7 GHz, 7-11 GHz ve 3-11 GHz olmak üzere yedi farklı Gauss darbe sinyali ile aydınlatılmıştır. Her durum için görüntüler ve tümör yanıtları (dB) elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Radar Tabanlı Mikrodalga Görüntüleme

Radar tabanlı görüntüleme sisteminde uyarım sinyali verici anten tarafından hedef nesneye gönderilmekte ve geri saçılan sinyal de alıcı anten tarafından alınmaktadır. Radarların görüntüleme ve nesne tespiti için kullanımında mono-statik, bi-statik ve multi-statik olmak üzere üç farklı konfigürasyon tipi mevcuttur. Meme kanserinin tespitinde bu üç yöntem de araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

Mono-statik konfigürasyonda bir anten kullanılmaktadır. Bu anten hem verici hem de alıcı konumundadır. Uyarım sinyali antenden ortama gönderildikten sonra, geri saçılan sinyaller aynı anten tarafından kaydedilmektedir. Görüntü oluşturulabilmesi için meme etrafında farklı noktalardan ölçümler yapılması gerekmektedir [7], [8].

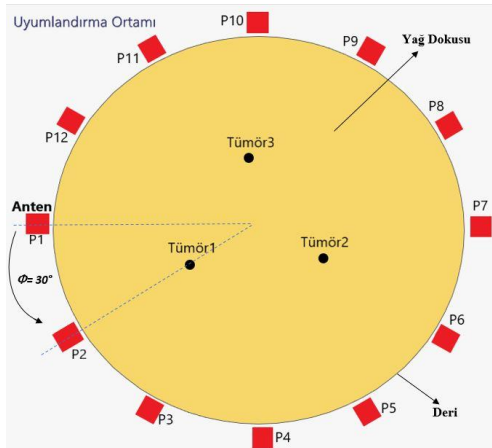
Bi-statik konfigürasyonda iki tane anten kullanılmaktadır. Antenlerden biri verici konumundayken diğer anten geri saçılan sinyalleri kaydetmektedir. Bu yöntemde de görüntü oluşturulabilmesi için anten çifti ile

hedef nesne etrafında farklı noktalardan ölçümler alınmaktadır [9].

Multi-statik radar konfigürasyonunda ise birçok antenden oluşan anten dizisi meme etrafında dizilmektedir. Bu yöntemde antenlerden birisi verici iken kalan diğer antenler alıcı olarak çalışmaktadır. Sırayla bütün antenler verici ve kalan antenler alıcı olarak çalıştırıldıktan sonra kaydedilen sinyaller görüntüye dönüştürülmektedir [10].

Bu çalışmada mono-statik radar konfigürasyonu kullanılmıştır. Görüntüleme sistemi CST Microwave Studio simülasyon programında oluşturulmuştur. Meme, 50 mm yarı çaplı yarım küre şeklinde tasarlanmıştır. Deri tabakasının kalınlığı 2 mm'dir ve altında tamamen yağ dokusu bulunmaktadır. Bu çalışmada fibroglandular doku içermeyen düşük yoğunluklu, basit bir homojen meme modeli kullanılmıştır ve bu durum tümörün tespitini kolaylaştırmaktadır. Yağ dokusunun içinde farklı noktalara 1 mm yarı çaplı küresel üç adet tümör yerleştirilmiştir. Birinci tümör ($x=-18.59$; $y=10.9$; $z=18$), ikinci tümör ($x=18.22$; $y=10.4$; $z=18$) ve üçüncü tümör ($x=-0.2$; $y=-21$; $z=18$) noktalarına konumlandırılmıştır.

Sabit duran memenin etrafında dairesel olarak 12 farklı noktadan mono-statik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Görüntüleme sisteminin konfigürasyonu Şekil 1'de iki boyutlu olarak gösterilmiştir:



Şekil 1. Mono-statik Mikrodalga Görüntüleme sistemi

Alınan sinyallerdeki gürültüyü azaltmak için antenle meme arasındaki ortamın dielektrik özelliği yağ dokusununki ile aynı yapılarak bir uyumlandırma ortamı oluşturulmuştur. Şekil 1'de de görüldüğü üzere simülasyon ortamında tasarlanan meme modeli deri, yağ ve tümörden oluşmaktadır. Mikrodalga frekansları altında bu doku tiplerinin dielektrik özellikleri frekansa bağlı olarak değişmektedir. Frekansa bağlı olarak dokuların elektriksel özelliklerini belirlemek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [3], [4], [11], [12], [13]. Simülasyon ortamında meme dokularının dinamik dielektrik sabitini gerçeğe yakın şekilde elde edebilmek için tek kutuplu Debye modeli [14] kullanılmıştır. Tek kutuplu Debye modeli matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

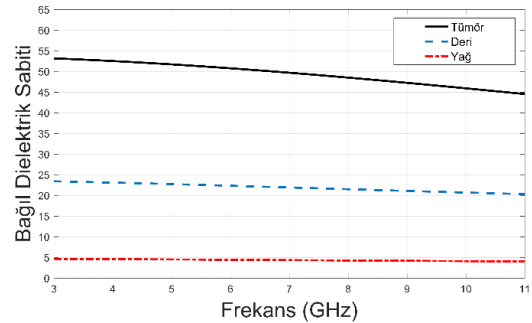
$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\sigma_s}{j\omega\epsilon_0} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega t_0} \quad (1)$$

Denklem (1)'deki parametreler Tablo 1'deki gibi seçildiğinde deri [15], yağ [16] ve tümör'ün [17] frekansa göre dielektrik sabitleri elde edilmektedir.

Tablo 1. Tek Kutup Debye Parametreleri

Doku	ϵ_∞	$\epsilon_s - \epsilon_\infty$	σ	t_0
Deri	15.63	8.2	0.82	12.6
Yağ	3.12	1.59	0.050	13
Tümör	7	47	0.15	7

Tablo 1'e göre elde edilen bağıl dielektrik sabitlerinin frekansa göre değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Memedeki doku tiplerinin 3-11 GHz frekans aralığındaki bağıl dielektrik sabitleri

Şekil 2'de de görüldüğü gibi sağlıklı yağ dokusunun dielektrik sabiti ile tümörünki

arasında büyük bir fark vardır. Aradaki dielektrik sabiti farkı, uyarım sinyali memeye nüfuz ettiğinde tümörün sağlıklı dokuya göre daha yüksek saçılım yapmasına neden olmaktadır. Bu saçılım, radar tabanlı mikrodalga görüntüleme tekniği ile tümörün konumunun tespitini sağlamaktadır.

Meme içerisindeki tümörlerin görüntülenmesi için, alıcı antenlerde toplanan sinyallere bir takım sinyal işleme tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Bunlar; filtreleme, integrasyon ve odaklama aşamalarıdır.

Filtreleme: Alıcı antenlerde kaydedilen sinyaller, ortamdaki tüm dokulardan ve diğer saçıcılardan saçılan sinyallerin toplamıdır. En baskın kısım ise deriden geri saçılan sinyaldir ve genliği tümörden saçılan sinyale göre oldukça yüksektir. Bu baskın kısımların belirlenip filtrelenmesi için referans olarak boyut, şekil ve doku tipleri bakımından kanserli memeye aynı olan sağlıklı bir meme modeli kullanılmıştır. Bu model monostatik olarak bir kez uyarılmış ve geri saçılan sinyal kaydedilmiştir. Daha sonra 12 kanaldaki her sinyalden sırayla çıkarılmıştır. Böylece deri ve yağdan saçılan sinyaller elenerek sadece tümörden saçılan sinyal elde edilmiştir. Referans olarak kullanılan sağlıklı meme modeli, tümörler haricinde kanserli meme modeli ile aynı seçilmezse bu yöntem kullanılarak tatmin edici sonuçlar elde edilmesi güçleşecektir. Oluşacak yeni saçılımlar tümör yanıtı üzerinde gürültüye sebep olacaktır. Bu yöntem aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$S_i^{TY} = S_i^T - S^H \quad (2)$$

Denklem (2)'de S_i^T her kanaldaki sinyali, S^H tümörsüz memeden saçılan sinyali, S_i^{TY} ise filtreleme sonucu elde edilmiş tümör yanıtı sinyalini ifade etmektedir.

İntegrasyon: Bir Gauss sinyali olan tümör yanıtından düzgün bir görüntü elde edilebilmesi için sinyalin zarfının alınması gerekmektedir. Hilbert dönüşümü ile bu işlem gerçekleştirilebilmektedir [18] ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$H\{s(t)\} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s(\tau)}{s(t-\tau)} d\tau \quad (3)$$

$$s_A(t) = s(t) + jH\{s(t)\} \quad (4)$$

$$s_A(t) = A(t)e^{j\omega(t)} \quad (5)$$

Hilbert dönüşümü, gerçek değerli bir sinyali, kompleks bileşene sahip analitik bir sinyale dönüştürmektedir. Denklem (4)'te $s(t)$ kalibre edilmiş gerçek değerli sinyali, $s_A(t)$ analitik sinyali, $H\{s(t)\}$ analitik sinyalin kompleks bileşenini, Denklem (5)'te ise $A(t)$ sinyalin zarfını ifade etmektedir.

Odaklama: Görüntü oluşturma işleminin son adımı odaklamadır. İki boyutlu görüntüleme alanı 1 mm x 1 mm boyutlarında piksellere bölünmektedir. Her pikselin antene olan uzaklığı ve gecikme zamanları hesaplanmaktadır. Piksellerdeki gecikme zamanına bağlı olarak her pikselin enerji seviyesi hesaplanmaktadır. Enerjinin en yüksek olduğu pikseller tümörün konumunu göstermektedir. Bu çalışmada odaklama algoritması olarak geleneksel ‘‘Geciktir ve Topla’’ (Delay-and-Sum) algoritması kullanılmıştır [19]. Bu yöntemin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$I(r) = \int_0^T \left[\sum_{n=1}^M S_n(t - \tau_n(r)) \right]^2 dt \quad (6)$$

Denklem (6)'da; $I(r)$ r uzaklığındaki pikselin enerjisini, S_n tümör yanıtını, τ_n her piksel için gecikme zamanını belirtmektedir. Gecikme zamanı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$\tau_m(r_0) = \frac{d_i}{v \cdot \Delta t} \quad (7)$$

Denklem (7)'de d_i piksel ile anten arasındaki uzaklığı, v dalganın ortamdaki hızını belirtmektedir. Bu parametreler aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır:

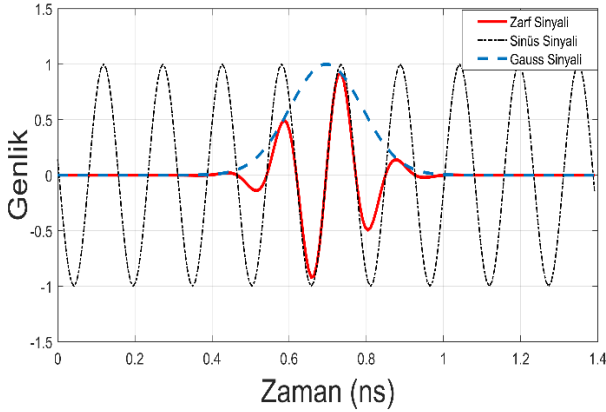
$$d_i = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}}{v} \quad (8)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

Denklem (9)'da c ışık hızını, ϵ_r ortamın bağlı dielektrik sabitini belirtmektedir

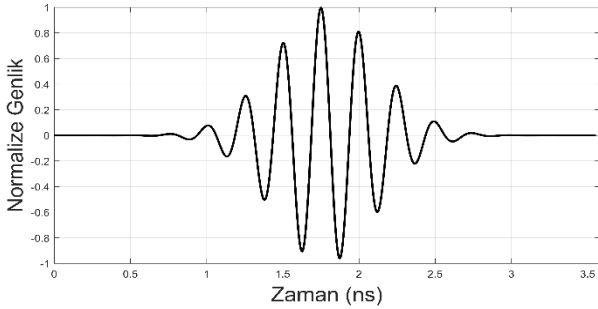
Gauss Darbe Sinyali

Radar tabanlı mikrodalga görüntüleme yönteminde verici anten uyarım sinyali olarak Gauss darbe sinyali göndermektedir. Gauss darbe sinyalinin süresi bant genişliğine göre değişmektedir. Bant genişliği arttıkça darbe süresi kısalmakta, bant genişliği azaldıkça darbe süresi de artmaktadır. Şekil 3'te 3-10 GHz bant genişliğinde sinüs modüleri Gauss sinyali görülmektedir.

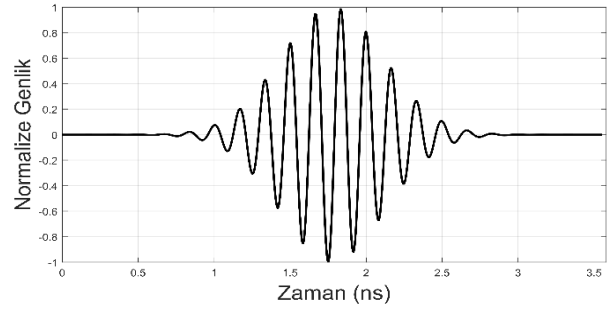


Şekil 3. Gauss darbesi ve bileşenleri
Sinüs modüleri Gauss darbe sinyalinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [20]:

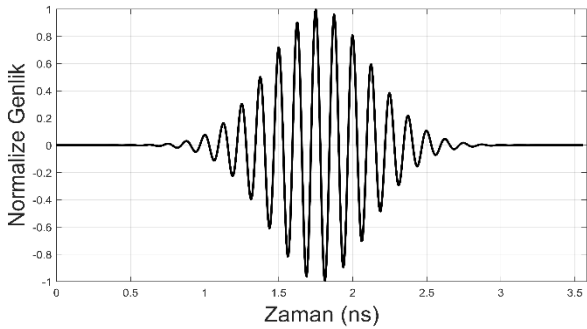
$$v(t) = v_0 \sin(2\pi f(t - t_0)) e^{\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)^2} \quad (10)$$



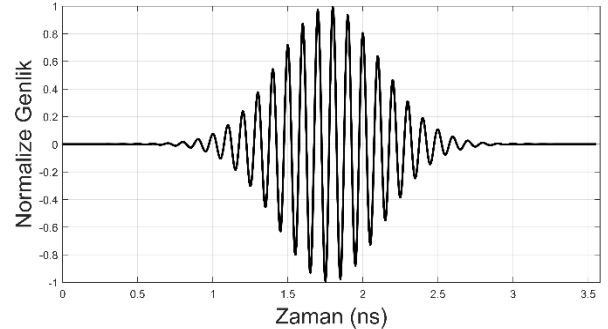
(a)



(b)



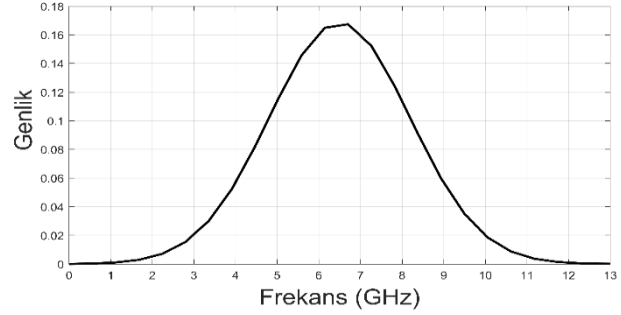
(c)



(d)

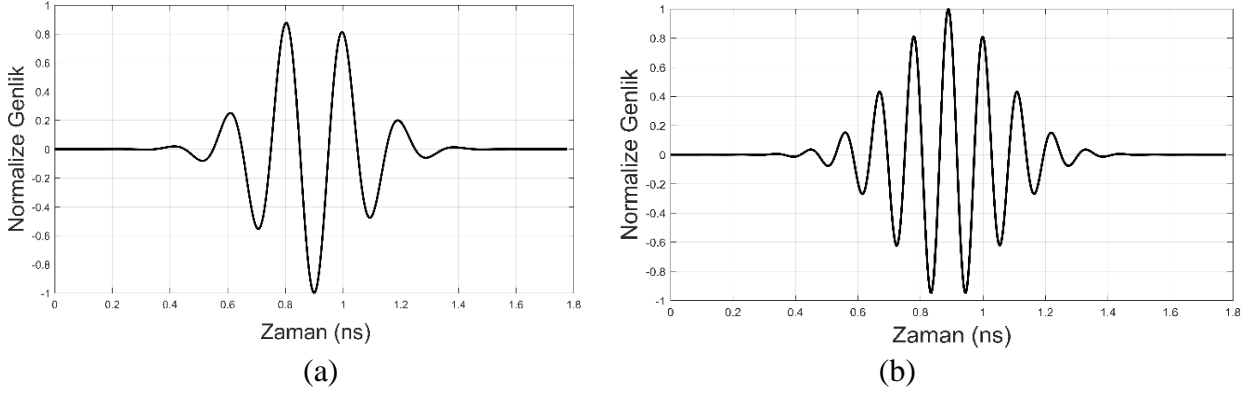
Şekil 5. 2 GHz frekans bandında Gauss sinyalleri: (a) 3-5GHz, (b) 5-7 GHz, (c) 7-9 GHz, (d) 9-11 GHz

Denklem (10)'daki ifade iki bileşenden oluşmaktadır. Sinüzoidal kısım ve Gauss sinyali ifade eden eksponansiyel kısımdır. Şekil 4'te bu sinyalin Fourier dönüşümü ve çalışma aralığı görülmektedir.

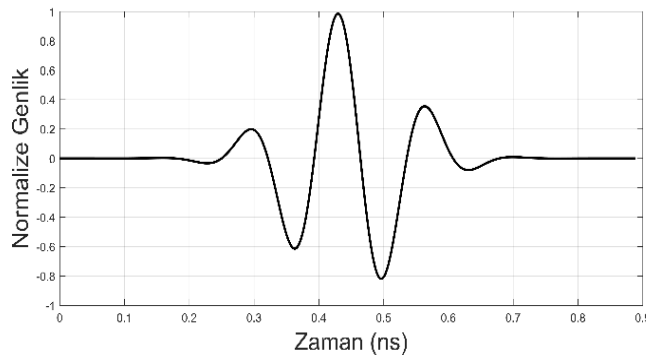


Şekil 4. Gauss darbesinin Fourier dönüşümü

Anten bant genişliği ve merkez frekansının tümör görüntüsü çözünürlüğüne etkisinin tespit edilmesi amacıyla 3-11 GHz frekans aralığı içinde 2 GHz, 4 GHz ve 8 GHz bant genişliğine sahip yedi farklı Gauss darbe sinyali oluşturulmuştur. Şekil 5'te 3-5 GHz (a), 5-7 GHz (b), 7-9 GHz (c) ve 9-11 GHz (d); Şekil 6'da 3-7 GHz (a) ve 7-11 GHz (b); Şekil 7'de 3-11 GHz çalışma frekanslarında oluşturulan Gauss darbe sinyalleri görülmektedir.



Şekil 6. 4 GHz frekans bandında Gauss sinyalleri: (a) 3-7 GHz, (b) 7-11 GHz



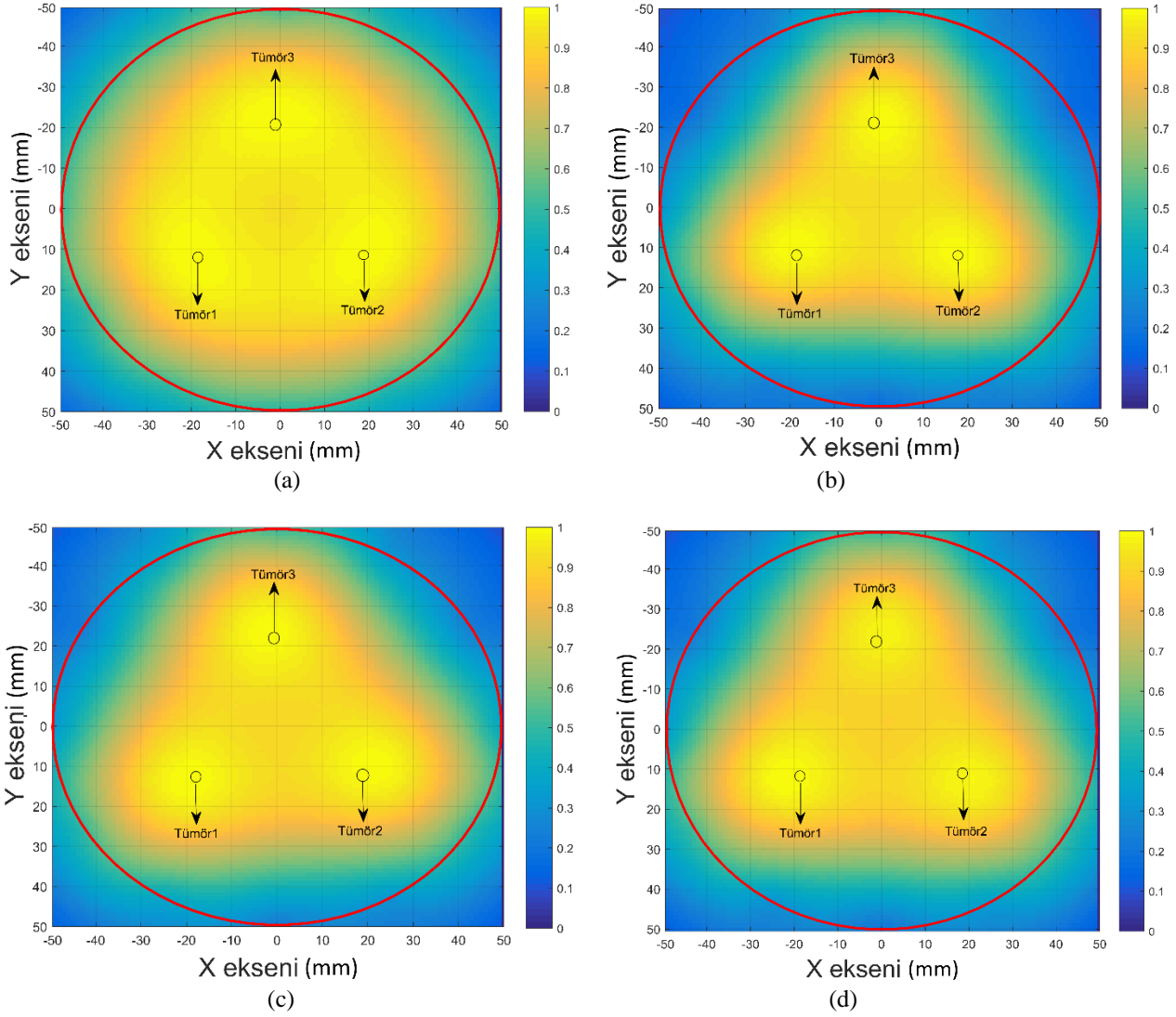
Şekil 7. 8 GHz frekans bandında Gauss sinyali: 3-11 GHz

Bant genişliğinin 2 GHz olduğu 3-5 GHz, 5-7 GHz, 7-9 GHz ve 9-11 GHz frekans bantlarında Gauss darbe sinyalinin süresi yaklaşık 3.5 ns (Şekil 5); bant genişliğinin 4 GHz olduğu 3-7 GHz ve 7-11 GHz frekans bantlarında yaklaşık 1.8 ns (Şekil 6) ve bant genişliğinin 8 GHz olduğu 3-11 GHz frekans aralığında yaklaşık 0.9 ns (Şekil 7) olduğu görülmektedir. Merkez frekans arttıkça sinüzoidal bileşenin sıklığı da artmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde merkez frekansın sinüzoidal dalganın sıklığına etkisi görülmektedir.

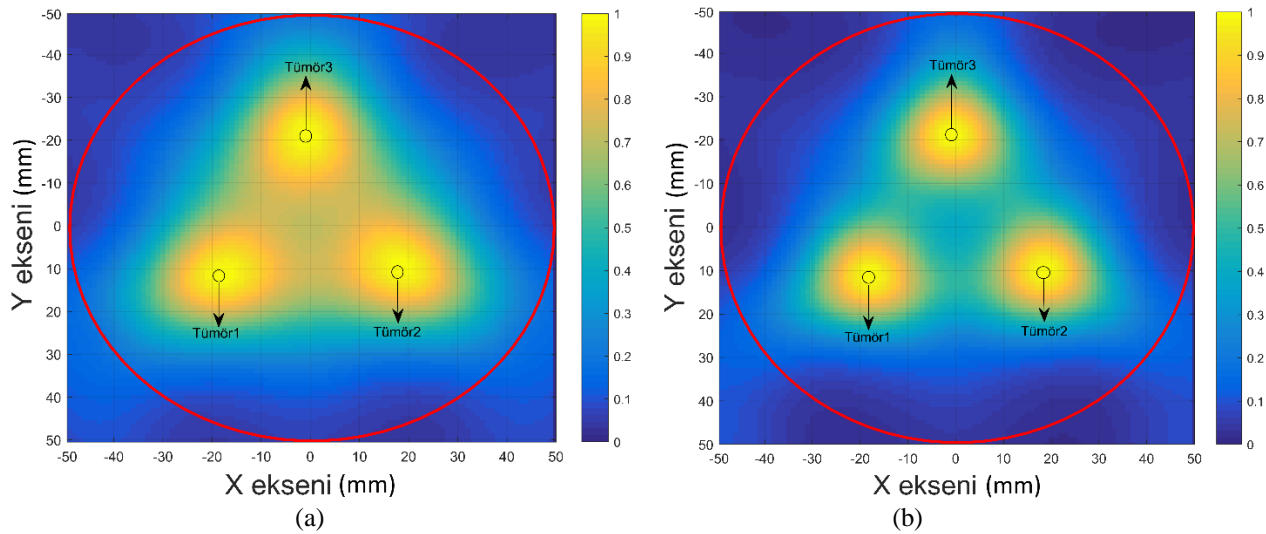
Daha sonra bu sinyaller verici anten tarafından uyarım sinyali olarak kullanılmış ve farklı çözünürlüklerde yedi adet görüntü elde edilmiştir.

Görüntüleme Sonuçları

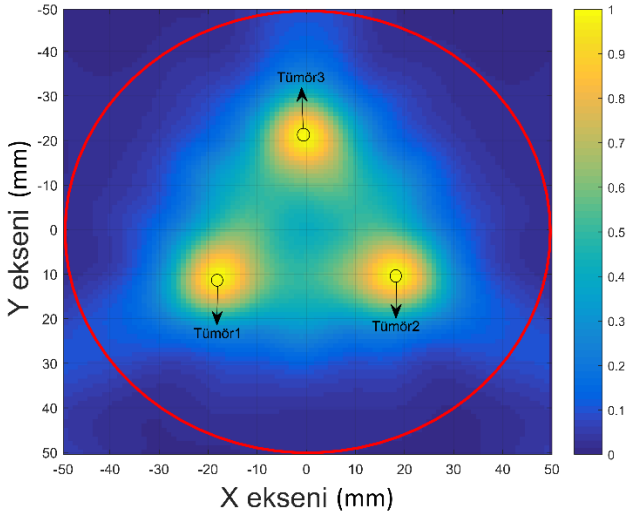
Homojen meme içerisinde konumlanmış 1 mm yarıçaplı küresel üç tümör filtreleme ve odaklama algoritması kullanılarak görüntülenmiştir. Görüntüleme için kullanılacak sinyallere ayrıca gürültü eklenmemiştir. Bant genişliğinin çözünürlüğe etkisinin daha iyi anlaşılması için birbirine yakın üç eş tümör kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bant genişliğinin ve merkez frekansın çözünürlük ve tümör yanıtı (dB) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 8'de bant genişliği 2 GHz ve çalışma aralığı 3-5 GHz (a), 5-7 GHz (b), 5-7 GHz (c) ve 9-11 GHz olan Gauss darbe sinyali kullanılarak elde edilen görüntüler gösterilmiştir. Şekil 9'da bant genişliği 4 GHz, çalışma aralığı 3-7 GHz (a) ve 7-11 GHz (b) olan darbe sinyali kullanılarak görüntüler elde edilmiştir. Şekil 10'daki görüntüde ise bant genişliği 8 GHz, çalışma aralığı 3-11 GHz'dir. Görüntüler tümörlerin konumunu X-Y düzlemi üzerinde göstermektedir.



Şekil 8. Bant genişliği 2 GHz olan Gauss darbe sinyali kullanılarak elde edilen görüntüler: çalışma aralığı (a) 3-5 GHz, (b) 5-7 GHz, (c) 7-9 GHz, (d) 9-11 GHz



Şekil 9. Bant genişliği 4 GHz olan Gauss darbe sinyali kullanılarak elde edilen görüntüler: çalışma aralığı (a) 3-7 GHz, (b) 7-11 GHz



Şekil 10. Bant genişliği 8 GHz olan Gauss darbe sinyali kullanılarak elde edilen görüntü: çalışma aralığı 3-11 GHz

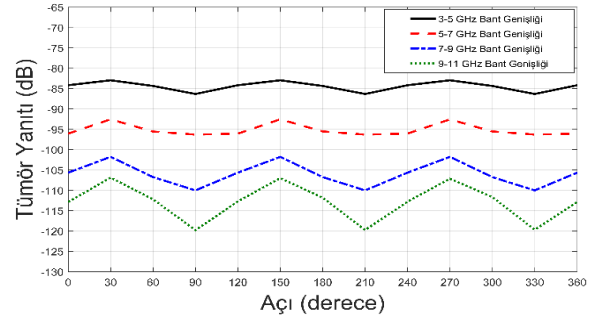
Farklı sürelerdeki Gauss darbe sinyalleri uyarım için kullanılmış ve tümör görüntüleri oluşturulmuştur. Yukarıda verilen görüntüleme sonuçları, $z=18$ mm kesitindeki piksellerin enerjilerinin maksimum enerjiye göre normalize edilmiş değerlerini göstermektedir. Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'daki görüntüleme sonuçlarına göre, homojen meme içerisindeki 1 mm yarıçaplı çok küçük üç tümör başarılı bir şekilde görüntülenmiştir. Görüntülerdeki en sarı bölgeler enerjinin en yüksek olduğu tümör konumlarını göstermektedir. Bant genişliği ve merkez frekansa bağlı olarak farklı çözünürlükte görüntüler oluşmuştur. Tümör görüntüleri incelendiğinde, en yüksek bant genişliğine ve dolayısıyla da en kısa Gauss darbe sinyali süresine sahip uyarım sinyali ile elde edilen görüntünün (Şekil 10) en yüksek çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür. Bant genişliği azalıp darbe sinyali süresi uzadıkça elde edilen görüntülerde çözünürlük azalmıştır. Tümör konumunu gösteren sarı renkli bölgeler birbirine karışmıştır. Ayrıca Şekil 9 (b)'de çözünürlüğün Şekil 9 (a)'ya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı durum Şekil 8'de de görülmektedir. Dolayısıyla bant genişliği aynı olan durumlarda merkez frekansındaki artışın çözünürlüğe pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Bant genişliği ve merkez frekansındaki değişime göre tümör yanıtının nasıl değiştiği dB

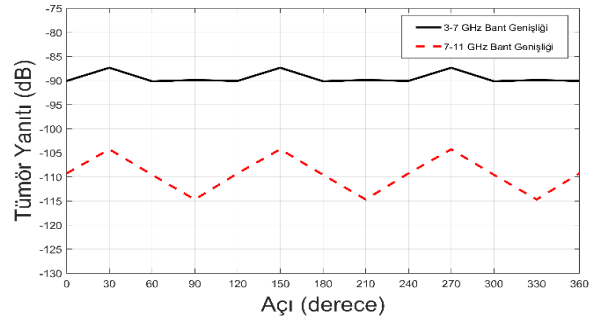
cinsinden karşılaştırılmıştır. Tümör yanıtı, özellikle deneysel çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. Ağ analizörü cihazının tümörü tespit edebilmesi için tümör yanıtının (dB) cihazın maksimum dinamik aralığından büyük olması gerekmektedir. Tümör yanıtı (dB) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [21]:

$$\text{Tümör Yanıtı} = 20 \cdot \log \left(\frac{(S_i^{TY})_{\text{pik-pik}}}{S(t)_{\text{pik-pik}}} \right) \quad (11)$$

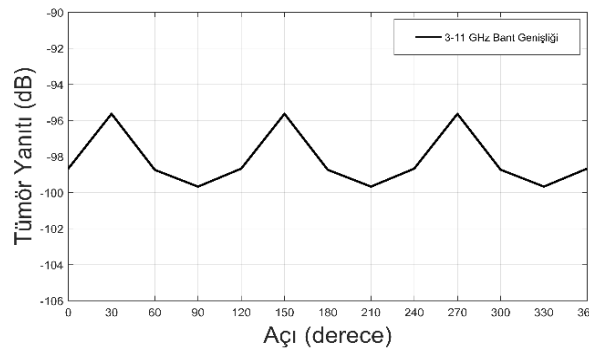
Denklemden (11)'de, S_i^{TY} kanallardaki sinyallerin filtrelenmiş formunu ve $S(t)$ ise anten tarafından gönderilen uyarım sinyali ifade etmektedir. Bant genişliği 2 GHz, 4 GHz ve 8 GHz olan sinyaller ile elde edilen tümör yanıtları sırasıyla Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir:



Şekil 11. Bant genişliği 2 GHz olduğunda elde edilen tümör yanıtları



Şekil 12. Bant genişliği 4 GHz olduğunda elde edilen tümör yanıtları



Şekil 13. Bant genişliği 8 GHz olduğunda elde edilen tümör yanıtları

Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'teki sonuçlara göre merkez frekans küçüldükçe tümör yanıtının arttığı görülmektedir. Bu çalışmada modellenen meme dokuları dinamik dielektrik sabitine sahiptirler ve 3-11 GHz frekans aralığında alt frekanslarda daha yüksek dielektriğe sahipken, frekans arttıkça dielektrik sabitleri azalmaktadır. Dolayısıyla tümör yanıtında frekansa bağlı olarak değişimler olabilmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, farklı sürelerdeki Gauss darbe sinyalleri uyartım için kullanılmış ve standart görüntüleme algoritmaları kullanılarak basit bir homojen meme modeli içerisindeki 1 mm yarıçaplı üç tümör görüntülenmiştir. Tümör görüntüleri analiz edildiğinde, en yüksek bant genişliğine ve dolayısıyla da en kısa Gauss darbe sinyali süresine sahip sinyal ile elde edilen görüntülerin en yüksek çözünürlüğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bant genişliği azalır darbe sinyali süresi uzadıkça elde edilen görüntülerde çözünürlük azalmıştır. Ayrıca düşük merkez frekanslı sinyaller ile elde edilen tümör yanıtının, yüksek merkez frekanslı sinyallerle elde edilenlere göre daha büyük olduğu görülmüştür. Buna neden olan etkenler; 3-11 GHz frekans bandı aralığında meme dokularının elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı değişimleri ve yüksek frekanslarda dalga penetrasyonundaki zayıflama olarak düşünülmektedir. Bu konuda kesin bir yargıya ulaşmak için elektriksel özellikleri frekansa bağlı olarak değişmeyen bir meme modeli kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

Teşekkür

Yazarlar finansal destek için Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (Proje Numarası: MÜHENDİSLİK.19.001) teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] S. Kwon ve S. Lee, "Recent Advances in Microwave Imaging for Breast Cancer Detection", International Journal of Biomedical Imaging Volume 2016, Article ID 5054912, 25 pages.
- [2] A. Berrington de González ve S. Darby, "Risk of cancer from diagnostic X-rays: Estimates for

- the U.K. and 14 other countries", *Lancet*, vol. 363, no. 9406, pp. 345–351, Jan. 2004.
- [3] S. S. Chaudhary, R. K. Mishra, A. Swarup, ve J. M. Thomas, "Dielectric properties of normal & malignant human breast tissues at radiowave & microwave frequencies," *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, vol. 21, no. 1, pp. 76–79, 1984.
- [4] A. J. Surowiec, S. S. Stuchly, J. R. Barr, ve A. Swarup, "Dielectric properties of breast carcinoma and the surrounding tissues," *International Journal of Biomedical Imaging* 21 *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 35, no. 4, pp. 257–263, 1988.
- [5] New public safety applications and broadband internet access among uses envisioned by FCC authorization of ultra-wideband technology FCC news release (February 14, 2002). Available at ([http://ftp.fcc.gov/Bureaus/Engineering Technology/ News Releases/2002/nret0203.pdf](http://ftp.fcc.gov/Bureaus/Engineering%20Technology/News%20Releases/2002/nret0203.pdf))
- [6] S.C. Hagness, A. Taflov ve J. Bridges. "Two-Dimensional FDTD Analysis of a Pulsed Microwave Confocal System for Breast Cancer Detection: Fixed-Focus and Antenna-Array Sensors", *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, VOL. 45, NO. 12, DECEMBER 1998.
- [7] X. Li ve S. C. Hagness, "A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 130–132, 2001.
- [8] EC Fear, SC Hagness, Meaney, PM Okoniewski, MA Stuchly, "Enhancing breast tumor detection with near-field imaging. *IEEE Microwave Magazine* 3(1):48–56, 2002.
- [9] B. Guo, Y. Wang, J. Li, P. Stoica ve R. Wu, "Microwave Imaging via Adaptive Beamforming Methods for Breast Cancer Detection", *Progress In Electromagnetics Research Symposium 2005, Hangzhou, China, August 22-26*.
- [10] R. Nilavalan, A. Gbedemah, I.J. Craddock, X. Li ve S. C. Hagness, "Numerical Investigation of Breast Tumour Detection using Multi-Static Radar". *Electronics Letters* 39(25):1787–1789.

- [11] A. M. Campbell ve D. V. Land, "Dielectric properties of female human breast tissue measured in vitro at 3.2 GHz," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 37, no. 1, pp. 193–210, 1992.
- [12] W. T. Joines, Y. Zhang, C. Li ve R. L. Jirtle, "The measured electrical properties of normal and malignant human tissues from 50 to 900 MHz," *Medical Physics*, vol. 21, no. 4, pp. 547–550, 1994.
- [13] M. Lazebnik, D. Popovic, L. McCartney et al., "A large-scale study of the ultrawideband microwave dielectric properties of normal, benign and malignant breast tissues obtained from cancer surgeries," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 52, no.20, pp. 6093–6115, 2007.
- [14] M. Okoniewski, M. Mrozowski ve M. A. Stuchly, "Simple treatment of multi-term dispersion in ftdt," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 7, 121–123, 1997.
- [15] C. Gabriel, S. Gabriel ve E. Corthout, "The dielectric properties of biological tissues: I. literature survey," *Phys. Med. Biol.*, Vol. 41, No. 11, 2231–2249, Nov. 1996.
- [16] E. Zastrow, S. K. Davis, M. Lazebnik, F. Kelcz, B. D. V. Veen ve S. Hagness, "Development of anatomically realistic numerical breast phantoms with accurate dielectric properties for modeling microwave interactions with the human breast," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 55, No. 12, 2792–2800, Dec. 2008.
- [17] E. J. Bond, X. Li, S. C. Hagness ve B. D. V. Veen, "Microwave imaging via space-time beamforming for early detection of breast cancer," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1690–1705, 2003.
- [18] Zhang, "H. Microwave Imaging for Ultra-Wideband Antenna Based Cancer Detection", Ph.D. Thesis, The University of Edinburgh, Edinburgh, UK, 2015.
- [19] J. Li, P. Stoica ve Z. Wang, "On robust Capon beamforming and diagonal loading. *IEEE Transactions on Signal Processing* 51(7):1702–1715, 2003.
- [20] S.C. Hagness, A. Taflove ve J. Bridges. "Three-Dimensional FDTD Analysis of a Pulsed Microwave Confocal System for Breast Cancer Detection: Design of an Antenna-Array Element". *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, Vol. 47, No. 5, May 1999.
- [21] S. Hagness, A. Taflove ve J. Bridges, "Wideband ultralow reverberation antenna for biological sensing," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 19, pp. 1594-1595, 1997.



Lpg Yakıtlı Endüstriyel Yatay Tip Mısır Kurutma Tesisinin Enerji ve Maliyet Analizi

Fatih ÜNAL

Mardin Artuklu Üniversitesi, Makine Programı, Mardin
fatihunal@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6660-9984

Hüsamettin BULUT

Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Şanlıurfa
hbulut@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7123-1648

Ahmet KAHRAMAN

Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa
ahmetkahraman1992@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9885-2778

Geliş: 10.08.2019, Revizyon: 26.02.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Bu çalışmada kurutma havasının ısıtılmasında LPG kullanılan yatay tip mısır kurutma tesisinin kurutma odasına farklı kurutma havası giriş sıcaklıkları ile elde edilen sonuçlara bağlı olarak enerji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Kurutma sürecinde, sisteme sabit hava debisinde farklı sıcaklıklarda (85°C, 90°C ve 95°C) kurutma havası gönderilerek belirlenen düğüm noktalarında sıcaklık(°C), bağıl nem(%) ve hava hızı(m/s) ölçülmüştür. Sistemde belirlenen 6 adet düğüm noktasından elde edilen verilere bağlı olarak yapılan enerji ve maliyet analizinde kurutma havası giriş sıcaklığı, ısıtıcı giriş havasının sıcaklığı ve bağıl nem değişimlerinin yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği ve birim kurutma maliyet üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kurutma giriş havası sıcaklığının artmasının enerji verimliliğini düşürdüğü, birim kurutma maliyetini ve yakıt sarfiyatını artırdığı tespit edilmiştir. Isıtıcı giriş havasının bağıl neminin artması ile yakıt sarfiyatının ve birim kurutma maliyetinin arttığı ve enerji verimliliğinin düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Mısır Kurutma, Tahıl Kurutma, LPG Yakıtlı Kurutma Tesisi, Enerji ve Maliyet Analizi;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.452540

Giriş

Güneydoğu Anadolu bölgesinde sulu tarıma geçilmesiyle birlikte bölgede ikinci ürün olarak mısır ekimi yapılmaya başlanmıştır. Artan üretim ile birlikte depolama ve kurutma ihtiyacı oluşmuştur. İhtiyacın karşılanması için birçok mısır kurutma fabrikası ve silo kurulmuştur.

Son yıllarda gerek enerji talebi gerekse enerji birim fiyatlarındaki artışa paralel olarak enerji tasarrufunun önemi de artmıştır. Bu çalışmanın amacı LPG ile çalışan endüstriyel mısır kurutma tesisinin termodinamik özelliklerinin belirlenip, kurutma sistemine enerji ve maliyet analiz yöntemleri ile performans analizi yapmaktır. Ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlı olması ve yakıt olarak kullanılan gazı ithal edilmesi bu çalışmayı daha önemli bir konuma taşımaktadır. Kurutma prosesine sabit hava debisinde farklı sıcaklıklarda kurutma havası gönderilerek ürün kurutma işlemi yapılmıştır. Yapılan enerji ve maliyet analizinin sonucunda kurutma havasının giriş sıcaklığının yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği ve birim kurutma maliyeti üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile en ideal çalışma koşulunun belirlenmesi ve mevcut sistemde yapılması muhtemel iyileştirmelerin tespiti için kılavuz olması düşünülmektedir.

Literatürde bu konuyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. İzli (2007), mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerini belirlemiştir. Bu amaçla 700 kg kapasiteli sıcak havayla kurutma düzeneği imal etmiş ve deneysel çalışmaları bu düzende gerçekleştirmiştir. Çalışmasında 1 m/s sabit kurutma havası çıkış hızında, 45°C, 55°C, 65°C, 75°C ve atmosfer sıcaklıklarında olmak üzere beş farklı sıcaklık değerinde, %16.4 nemden mısır için güvenli depolama nemi olan %10 nem değerine ininceye kadar yapmıştır. Karıştırıcı ve karıştırıcı olmayan olarak beş farklı sıcaklık değerinde gerçekleştirilen deneylerde kurutma hızı, çimlenme hızı, çimlenme gücü, enerji tüketimi, kurutma özellikleri ve maliyet gibi parametreleri belirlemiştir

Kuzgunkaya ve Hepbaşlı (2007), tepsili bir kurutucu kabinde toprak kaynaklı bir ısı pompasıyla üretilen sıcak hava ile, defne yaprağını kurutma işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Kurutma havasının giriş sıcaklıkları 40°C, 45°C, ve 50°C değerlerine belli bir periyotta artırılarak kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma kabine giriş sıcaklığının artışı ile ekserji verimliliği, kayıpları ve kurutucunun geliştirme potansiyelini attırdığı tespit etmişlerdir. Kuzgunkaya ve Hepbaşlı (2007), aynı kurutma sisteminde düğüm noktalarını belirledikten sonra sistemin enerji verimliliği ayrı bir çalışmada tespit edilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde kurutma işleminde kullanılan ısı pompası ünitesinin ekserji verimliliğini %21.1, toprak kaynaklı ısı pompasının verimliliğini %20.5 ve tüm kurutma sistemi için verimi %15.5 olarak tespit etmişlerdir. Syahrul ve ark. (2003), çalışmalarında akışkan yataklı kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinin termodinamik analizini ve bu analizin modellemesini yapmışlardır. Modellemenin ve deneysel verilerin birbiri ile olan uyumunu irdelemek amacıyla buğday ve mısır için kurutma verilerini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda, kurutma işleminin başlamasından sonra belli bir süre enerji ve ekserji verimlilikleri daha yüksek olmasına rağmen, belirli bir süre sonra enerji verimliliğin azaldığı ve ekserji verimliliğinin enerji verimliliğine göre daha düşük değerlerde seyrettiğini belirlemişlerdir. Deneysel çalışmalarda buğday ve mısır kurutulması için değişen sıcaklık, hava hızı, nem içeriği gibi özelliklerin kurutma işlemine olan etkileri irdelemişlerdir. Akpınar ve ark. (2006), dilimlenmiş kırmızı biberlerin ve çilek numunelerinin tepsili tip bir kurutucuda kurutma işleminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Analiz neticesinde kurutma odasında enerji verimlilikleri ve meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır. Erbay ve Hepbaşlı (2014), toprak kaynaklı ısı pompası ile kurutma havasının üretildiği bir kurutma sisteminin enerji verimliliği ve ekserji analizini yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda enerji ve ekserji verimliliğinin sırayla %77.05 ve %93.5 gibi değerlere çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ekserji kayıplarının fazla olduğu bileşenlere yapılacak iyileştirme işleminin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Endüstriyel kurutma tesislerinde önemli miktarda enerji harcanmaktadır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde son yıllarda endüstriyel mısır kurutma tesisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda endüstriyel kurutma tesisinde enerji ve maliyet analizi yapılan çalışmaların yetersiz olması bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır. Bu çalışma ile mevcut sistemde enerji verimliliğini ve sistem performansını artırmaya yönelik yapılabilecek iyileştirmeler konusunda ileride yapılacak çalışmalara yol gösterme açısından gerekli olan alt yapıyı sağlayacaktır.

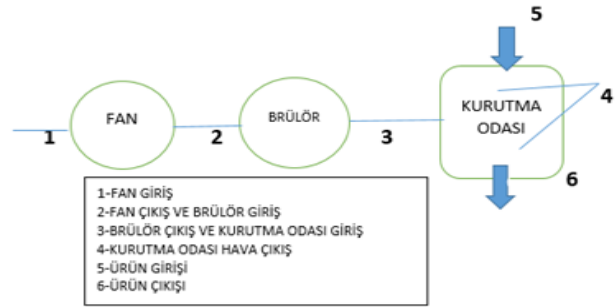
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Şanlıurfa/Ceylanpınar'da kurulu Ada Kurutma firmasına ait yakıt olarak LPG kullanan yatay tip endüstriyel mısır kurutma tesisi incelenmiştir. Şekil 1'de verilen kurutma sistemi ısıtıcı grubu, kurutma prosesi ve taşıyıcı grubu olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Kurutma sistemi alt ve üst iki bölmeden oluşmaktadır. Bu bölmelerin her ikisinde ısıtma veya soğutma yapılabilmesinin yanı sıra üst bölmede ısıtma alt bölmede soğutma işlemi yapılabilmektedir. Kurutma sisteminin çalışması, fan ve brülörden oluşan ısıtma grubunda ısıtılan hava kurutma hacmine gönderilir. Bu esnada kurutulacak ürün helezon sistemi tarafından akış bölmelerine aktarılarak kurutma havası ile temas ettirilmiş olur ve nemini havaya bırakır. Kurutulan ürünün sisteme bıraktığı nemli hava delikli krom yan saclardan dışarı atılır. Bu arada merdaneler altındaki döner helezon üzerinde kurumuş ürün toplanarak kontrollü bir şekilde helezon sistemi ile kuru ürün havuzuna taşınır. Nem ölçümü yapılarak sistemin kurumuş ürünü boşaltma hızı istenilen değerlere göre ayarlanabilmektedir.



Şekil 1. Yatay Tip Mısır Kurutma Makinesi (Ada Kurutma)

Şekil 2'de kurutma sisteminin akış şeması üzerinde belirlenen 6 adet düğüm noktası gösterilmiştir. Deneysel analizlerde kullanılacak verilerin belirlenmesi, sistemin gerçek çalışma koşullarında belirlenen düğüm noktalarına ait değerlerin ölçümünde elde edilen sonuçlara bağlı olarak yapılacaktır.



Şekil 2. Sistemin Ölçüm Noktaları

Endüstriyel kurutma tesisinin gerçek çalışma koşullarında belirlenen akış şemasına bağlı olarak düğüm noktalarında sıcaklık, bağıl nem ve hava akış debisi gibi analizde kullanılacak termodinamik özelliklerin tespiti için kurutma süresince belli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde kurutma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve data logger ile kayıt altına alınmıştır. Kurutma havasının prosese giriş hızı, bağıl nem ve mısır nemi 10 dakikalık periyotlarda manuel olarak mevcut cihazlarla ölçülmüştür. Hava hızı, fabrika verilerine yakın değerlerde seyrettiğinden dolayı hava debisi için fabrikada kullanılan otomasyon sistemi verileri ile kıyaslanarak ortalamaları alınarak kullanılmıştır. Belirlenen düğüm noktalarının termodinamik özelliklerinin tespiti

tek tek ve akış şemasına uygun olarak yapılan ölçümler ile fabrikanın otomasyon sistemine ait ölçüm verileri kıyaslanarak sonuçların ortalaması alınarak bulunmuştur. Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri ve hassasiyetleri aşağıda verilmiştir.

- Data logger (Fourtec DaqPRO 8-kanallı data logger doğruluk; $\pm 0.5\%$)
- Termocupl (T tipi doğruluk; $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Hava hızı ölçer (KİMO AMI 300 $\varnothing 70$ mm vane probe doğruluk; $\pm 3\%$, ± 0.1 m/s)
- Bağıl nem ölçer (KİMO AMI air quality probe doğruluk; 0.1% rh)

- Mısır nem ölçer (PM 450 doğruluk; 0.5%)

Bu çalışmada; referans çevrenin özellikleri baz alınmış olup ayrıca, potansiyel ve kinetik enerji değerlerinin ihmal edilebileceği kararlı akış hali söz konusudur. Mısır kurutma tesisinde yapılan analizlerde akışın, sürekli akış olduğu kabulü yapılmıştır. Kimyasal reaksiyonlar yoktur. Hava sabit bir özgül ısıya sahip ideal gaz olarak kabul edilmiştir. Sistemden olan ısı transferi ve sisteme olan güç transferi pozitif olarak kabul edilmiştir. Kurutma sisteminin enerji ve maliyet analizi için yapılan kabuller ve kullanılan eşitlikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan eşitlikler ve kabuller

NUMARA	AÇIKLAMA	DENKLEM
1	Kuru hava için kütle korunumu	$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c$
2	Nem için kütle korunumu	$\sum (\dot{m}_{kh} \cdot w_g + \dot{m}_{su}) = \sum \dot{m}_{kh} \cdot w_c$
3	Enerjinin korunumu	$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} \right)$
4	Isıtıcıdan kazanılan faydalı enerji	$\dot{Q}_{faydalı} = \dot{m}_{kh} c_{p_{kh}} (T_{I_g} - T_{I_c})$
5	Nem alma esnasında kullanılan ısı enerjisi	$\dot{Q}_{ko} = \dot{m}_{kh} (h_{kog} - h_{koç})$
6	Isıtıcı enerji verimi	$\eta_{ısıtıcı} = \frac{\dot{Q}_{faydalı}}{\dot{Q}_{yakıt}}$
7	Sistem enerji verimi	$\eta_{sistem} = \frac{\dot{Q}_{ko}}{\dot{Q}_{yakıt}}$
8	Birim kurutma maliyeti	$BKM = \frac{\text{Yakıt sarfiyatı(TL)}}{\text{Kurutulan ürün miktarı (kg)}}$
9	Özgül nem çekme oranı (SMER)	$SMER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Giriş Miktarı}}$
10	Nem alma hızı (MER)	$MER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Kuruma Süresi}}$
11	Özgül enerji tüketimi (SEC)	$SEC = \frac{\text{Sisteme Giren Toplam Sisteme Enerji}}{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)}}$

Tablo 1’de verilen termodinamik eşitlikler yardımı ile kurutma sisteminin enerji analizi

yapılmıştır. Isıtıcının giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak, ısıtıcıdan kazanılan faydalı enerji

hesaplanmıştır. Analiz kapsamında, kurutma odası giriş ve çıkış arasındaki enerji değişimi hesaplanmıştır. Sistem üzerinde belirlenen düğüm noktalarının giriş ve çıkış koşullarına bağlı olarak hesaplanan enerji değerleri yardımıyla sistemin enerji verimliliği tespit edilmiştir. Sistemde entalpi değişiminin belirlenmesi için giriş koşullarındaki entalpi değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Entalpi değerinin bulunması için psikometrik diyagramdan yararlanılmıştır. Giriş koşullarında sıcaklık değeri ölçümlerle belirlenmiştir. Psikometrik diyagramdan değerlerin okunabilmesi için gerekli ikinci değer olarak mutlak nem değerleri Tablo 1’de verilen Eşitlik 2’den yararlanılarak bulunmuştur. Eşitlik 2’de kullanılan m_{su} , m_{kh} , w_g ve w_c indisleri sırasıyla uzaklaştırılan nemin kütleli debisi, kurutma havası kütleli debisi, prosese giren kurutma havasının özgül nemi ve proseten çıkan kurutma havasının özgül nemini ifade etmektedir. Kurutma havasının ısıtıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarından yararlanılarak, ısıtıcıdan kazanılan faydalı(yararlı) enerji Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 4’de kullanılan T ve h indisleri sırasıyla havanın sıcaklığını ve entalpisini ifade etmektedir. I_g ve I_c alt indisleri sırasıyla ısıtıcı giriş ve ısıtıcı çıkışını ifade etmektedir. Kurutma havasının debisi ve özgül ısı sırasıyla m_{kh} ve C_{pkh} olarak ifade edilmektedir. Proseten nem alma işleminde kullanılan enerji Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklemde kullanılacak kurutma odasına giriş ve çıkış entalpisini ifade

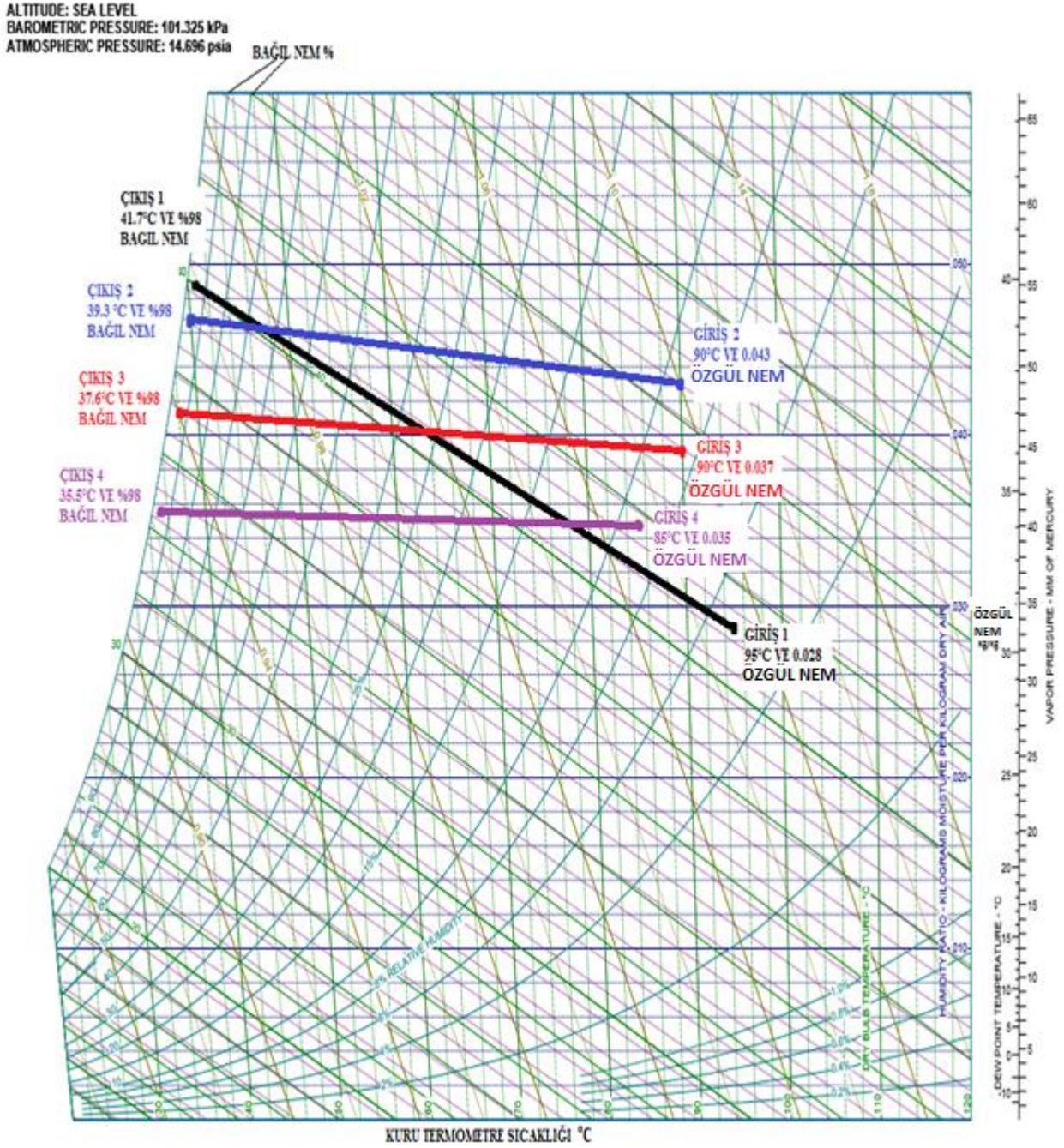
eden h_{kog} ve $h_{koç}$ değerleri, sıcaklık ve nem değerleri kullanılarak psikometrik diyagramdan hesaplanmıştır. Isıtıcının enerji verimliliği Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemin enerji verimliliği Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmıştır. Birim kurutma maliyeti; kurutma tesisinde 1 kg ürünün kurutulması için gerekli olan enerji maliyetidir ve Eşitlik 8’den yararlanılarak hesaplanmıştır. Kurutucuların enerji verimliliği genellikle özgül nem çekme oranı (SMER: Specific Moisture Extraction Rate) ile belirlenmektedir. 1 kg nemli havadan nemi çekmek için harcanan enerji miktarı “özgül nem çekme oranı” olarak ifade edilmektedir. Bu büyüklük birim enerji kullanımı için, kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütleli debisini göstermektedir (kg_{su} /kWh). Özgül nem çekme oranı Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanmıştır. Nem alma hızı kurutucudan birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütleli debisi olarak tanımlanır ve (MER: Moisture Extraction Rate) ile gösterilir. Nem alma hızı Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanmıştır. Nem alma hızı kg_{su}/h cinsinden ifade edilmektedir. Özgül enerji tüketimi; ürünün kurutulması sırasında, ürünlerden birim miktarda nemi uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanır ve (SEC: Spesific Energy Consumption) ile gösterilir. Özgül enerji tüketimi kJ/kg olarak ifade edilmektedir. Sistemin özgül enerji tüketimi ise Eşitlik 11’den yararlanılarak hesaplanmıştır. Sabit hava debisinde yapılan 4 ayrı kurutma işlemi neticesinde elde edilen ölçüm verileri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Mısır Kurutma Tesisinden Elde Edilen Ölçüm Verileri

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	20,6	14,2	21	19,8
Bağıl Nem, %	33,2	58	28,5	32,8
Mısır Giriş Nem, %	24,6	29,2	25,7	28,3
Mısır Çıkış Nem, %	14,8	15,4	14,3	15,1
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	23	20,8	24,5	23,4
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	55	51	53	52
Hava Debisi, m ³ /h	50000	50000	50000	50000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	95	90	90	85
Yakıt Sarfıyatı, m ³	95	115	90	100
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	21500	22500	19000	21000
Deney Süresi, Dakika	128	146	135	160

Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm verilerine bağlı olarak LPG kullanılan mısır kurutma tesisinde gerçek çalışma koşullarında

yapılan 4 farklı kurutma işlemi için kurutma havasının prosese giriş ve çıkış koşulları Şekil 3'te psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



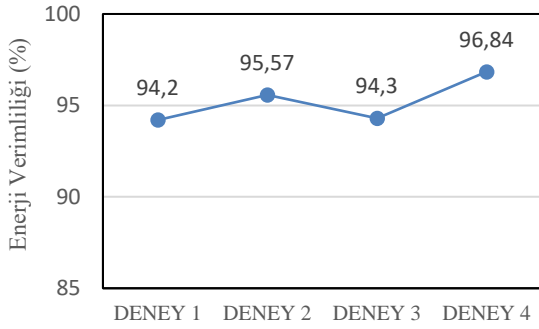
Şekil 3. Hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

Şekil 3 incelendiğinde, başlangıçta yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğine sahip hava kuruma süreci sonrasında düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğine sahip olarak

çıkılmaktadır. Deneylerde giriş havası ve bağıl neminin farklı olmasından dolayı kurutma havası eğrilerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

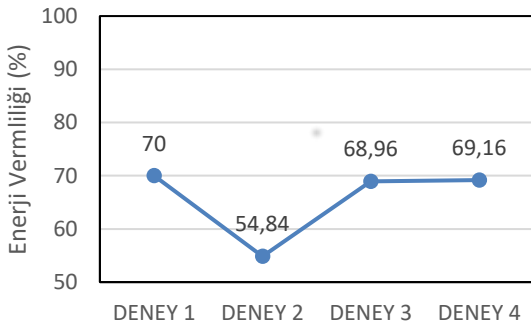
Sonuçlar ve Tartışma

İncelenen yatay tip endüstriyel mısır kurutma tesisinin enerji ve maliyet analizine ait elde edilen sonuçlar aşağıda incelenmiştir. Yapılan deneysel analizler sonucunda kurutma tesisinin ısıtıcısına ait enerji verimliliği değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Isıtıcının Enerji Verimliliğinin Değişimi

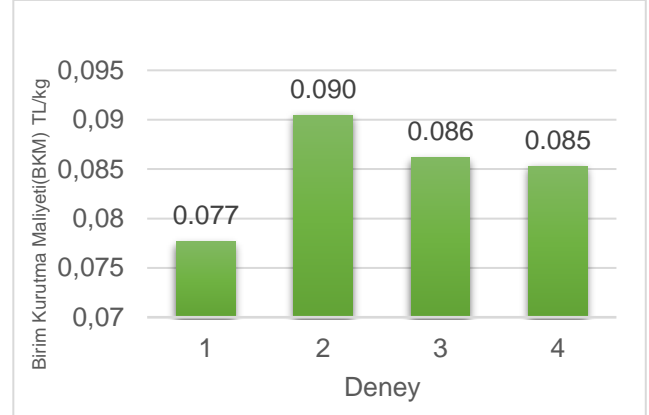
Şekil 4 incelendiğinde, kurutma havasının ısıtıcıdan çıkış sıcaklığı azaldıkça ısıtıcının veriminin arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kurutma havasının çıkış sıcaklığı ile ısıtıcı verimi arasında ters orantı söz konusudur. Deneylerde sistemin enerji verimliliğine ait değişim Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Sistemin Enerji Verimliliğinin Değişimi

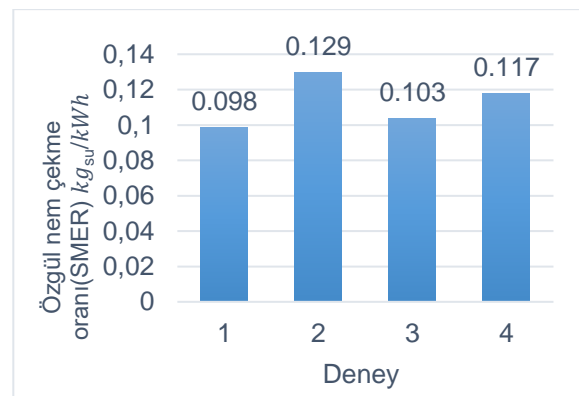
Şekil 5 incelendiğinde, kurutma odasına kurutma havasının giriş sıcaklığının azalması ile sistemin enerji veriminin buna ters orantılı olarak artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek enerji verimliliği değeri 90°C kurutma havası giriş sıcaklığında %70 olarak birinci deneyde

görülmüştür. En düşük enerji verimlilik değeri ise %54.84 değeri ile ikinci deneyde görülmüştür. Kurutma tesisine ait birim kurutma maliyeti değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Birim kurutma maliyetinin değişimi

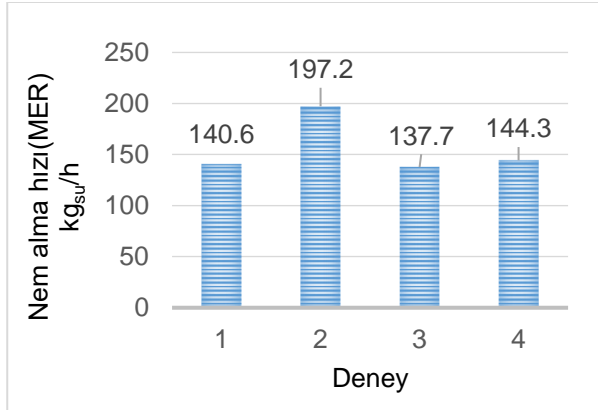
Şekil 6 incelendiğinde, kurutma havasının kurutma odasına giriş sıcaklığının azalması ile birim kurutma maliyetinin azalmakta olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ortalama birim kurutma maliyeti 0.085 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Birbirine yakın nem içeriğine sahip 1 ve 2 numaralı deneylerin birim kurutma maliyetleri arasındaki farklılığın sebebi nem alma kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutma sistemine ait Özgül nem çekme oranındaki değişimler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. LPG kullanan kurutma tesisin Özgül nem çekme oranı (SMER) değişimleri

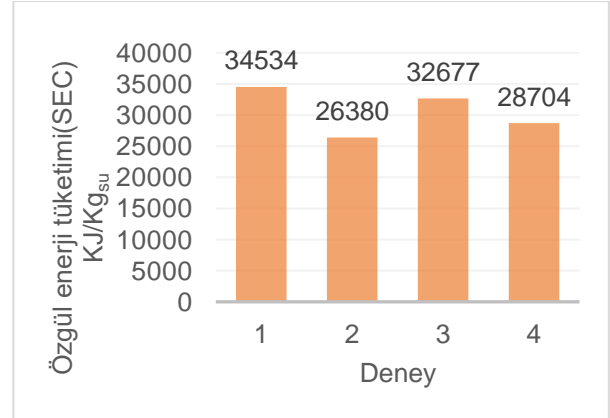
Şekil 7 incelendiğinde, sistemden Özgül nem çekme oranının ortalama olarak 0.112 kg_{su}/kWh civarında olduğu tespit edilmiştir.

Özgül nem çekme oranının kurutma havası sıcaklığının düşmesi ile artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumu bozan 2 numaralı deneyde ısıtıcıya giren havanın nem içeriğini çok yüksek ve sıcaklığın düşük olması özgül nem alma hızını ciddi oranda artırarak kurutma havası sıcaklığına bağlı oluşan doğrudan sapsmasına neden olmuştur. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. LPG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı (MER) değişimi

Şekil 8 incelendiğinde, kurutma sisteminin üründen nem alma hızı ortalama olarak 155.01 kg_{su}/h olarak hesaplanmıştır. Nem alma hızını etkileyen iki temel parametre ürün nem içeriği ve kurutma havasını nem alma kapasitesidir. 2 numaralı deneyde ürünün nem içeriğinin yüksek olması nem alma hızını artırmıştır. 1 ve 3 numaralı deneylerde ürün nem içeriği biri birine çok yakın olmasına karşın oluşan farkın nedeni kurutma havasının nem alma kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. LPG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi (SEC) değişimi

Şekil 9 incelendiğinde, kurutma sisteminde birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 30574 kJ/kg_{su} olarak hesaplanmıştır. Özgül enerji tüketimini etkileyen temel parametre ürünün nem içeriğidir. 1 ve 3 numaralı deneylerde nem içeriğinin daha düşük olmasından dolayı yüzeyde nem miktarı azdır. Bu durum sabit hızda kurutma periyodunun daha kısa ve azalan hız periyodunun sabit hıza oranla daha uzun olmasına neden olacağından özgül enerji tüketimini artırmaktadır.

Elde edilen veriler incelendiğinde, ısıtıcı çıkış sıcaklığındaki 5°C azalma ısıtıcı enerji verimliliğinde %1.5-2 arasında artış olarak değerlendirilmiştir. Deneylerde sistemin enerji verimlilikleri arasında %1-3 arasında bir fark görülmüştür. Ancak Deney 2’de sistemin enerji verimliliği diğer deneylerle mukayese edildiğinde enerji verimliliğinde %20’ye yakın düşüş olmasının nedeni sistem kurutma havasının ısıtıcıya girişteki bağıl neminin diğer deneylere kıyasla yaklaşık 2 kat fazla olmasıdır. Girişteki bağıl nemin yüksek olması kurutma sisteminin nem alma kapasitesini düşürdüğü için enerji verimliliği düşmüştür. Sistemin kurutma havası giriş sıcaklığındaki 5°C azalma özgül nem çekme oranında %4-5 arasında artış olarak yansımıştır. Ancak Deney 2’de bu artış %24 civarlarında olmuştur. Bu orantısız artışın temel sebebi kurutma havasının girişteki bağıl neminin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Analizlerde ürün nem içeriğindeki %1 artışın nem alma

hızını %4-5 arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca bağıl nemdeki %1 artışın, yakın nem içeriğindeki ürünlerdeki nem alma hızını %1-1.5 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Kurutma havasının prosese giriş sıcaklığının 5°C azalması özgül enerji tüketiminin %5-6 arasında azalmasına neden olduğu görülmüştür. Deney 2’de görülen %24’e yakın azalmanın temel sebebi nem alma kapasitesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan analizler ısıtıcı verimliliği açısından değerlendirildiğinde, en iyi değerler kurutma havası giriş sıcaklığı 85°C olan, %32.8 giriş bağıl nemine ve % 28.3 ürün nem içeriğine sahip Deney 4’te elde edilmiştir. Sistem enerji verimliliği açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 95°C olan, %33.2 giriş bağıl nem içeriği ve %24.6 ürün nem içeriğine sahip Deney 1’de %70 enerji verimliliği ile en iyi verim elde edilmiştir. Birim kurutma maliyeti açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 95°C olan, %33.2 giriş bağıl nem içeriğine sahip ve %24.6 ürün nem içeriğine sahip Deney 1’de 0,077TL/kg kurutma maliyeti ile en uygun değer elde edilmiştir. Nem alma hızı açısından değerlendirildiğinde kurutma havası giriş sıcaklığı 90°C olan, %58 giriş bağıl nem içeriği ve %29.2 ürün nem içeriğine sahip Deney 2’de 197.2 kg_{su}/h nem alma hızı ile en yüksek değer elde edilmiştir. Özgül enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 90°C olan, %58 giriş bağıl nem içeriğine sahip ve %29.2 ürün nem içeriğine sahip Deney 2’de 26380 kJ/kg_{su} özgül enerji tüketimi değeri ile en düşük sonuç elde edilmiştir. Bu bağlamda, Deney 2’deki şartlar sistemin enerji verimliliğini düşürmesine rağmen gerek yüksek ısıtıcı verimi gerekse düşük özgül enerji tüketimi nedeni ile tercih edilebilir olarak görülmektedir.

Sonuç olarak yapılan deneysel ölçümler neticesinde kurutma havası giriş sıcaklığının azalması ile yakıt sarfiyatının azaldığı belirlenmiştir. Yapılan analizde enerji

verimliliği ve birim kurutma maliyetinin değişiminde kurutma havası giriş sıcaklığının değişimi en önemli etkiye sahiptir. Bunun dışında kurutma havası giriş bağıl nemi ve mısır giriş neminin enerji verimliliği ve birim kurutma maliyetini doğrudan etkilediği bundan sonra yapılacak çalışmalarda göz önünde tutulmalıdır. Yapılan çalışmada endüstriyel mısır kuruma tesisleri için yapılacak enerji ve maliyet analizleri için iyi bir referans olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akpınar E. K. (2006), The First And Second Law Analyses Of Thermodynamic Of Pumpkin Drying Process, Journal of Food Engineering, 72:320–331.
- Erbay Z. And Hepbasli A. (2014), Application Of Conventional And Advanced Exergy Analyses To Evaluate The Performance Of A Ground-Source Heat Pump (Gshp) Dryer Used In Food Drying, Energy Conversion and Management, 78: 499–507.
- İzli N. (2007), Mısırın Sıcak Hava Akımıyla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuzgunkaya E.H., Hepbasli A. (2007a). Exergetic Evaluation of Drying of Laurel Leaves in a Vertical Ground-Source Heat Pump Drying Cabinet, International Journal of Energy Research, 31: 248-258.
- Kuzgunkaya E. H, Hepbasli A (2007b). Exergetic Performance Assesment of a Ground-Source Heat Pump Drying System, International Journal of Energy Research, 31: 760-777.
- Syahrul S, Dincer I, Hamdullahpur F. (2003). Thermodynamic Modelling of Fluidized Bed Drying of Moist Particles, International Journal of Thermal Sciences, 42: 691-701.
- <http://adakurutma.com.tr/>

Energy and Cost Analysis of Horizontal Type Corn Drying Plant Using LPG Fuel

Extended abstract

In this study, energy and cost analyzes were performed depending on the results obtained with different drying air inlet temperatures in the drying chamber of the horizontal type corn drying plant using liquefied LPG in the drying of the drying air. In the drying process, thermodynamic properties such as temperature, relative humidity and air velocity of the node points determined in the system are measured. Measurements in the study were made by sending drying air at different temperatures (85 ° C, 90 ° C and 95 ° C) in the constant airflow of corn drying process. As a result of the energy and cost analyzes made on the basis of the data obtained from the six node points determined in the system, the effects of the drying air inlet temperature, the temperature of the heater inlet air and relative humidity changes were been evaluated over the energy efficiency, consumption of fuel and the unit drying cost.

As a result of the investigation, it is seen that drying of the drying air decreases the drying rate of the unit by decreasing the inlet temperature to the drying chamber. Average unit drying cost was calculated as 0.085 TL / kg. The reason for this is that the dehumidification capacities are different due to the difference between the unit drying costs of experiments 1 and 2 with one moisture content close to one.

As a result of the analyzes, it was determined that the rate of specific dehumidification from the system was about 0.112 kg_{water} / kWh on average. It has been found that with the establishment of the specific dehumidification rate, the temperature decreases and tends to increase. InS the two experiments that disturb this situation, the humidification of the air entering the energy source must be very high and the temperature must be low.

The amount of energy required to remove unit moisture from the system was calculated as 30574 kJ / kg_{water} averagely. The basic parameter that influences Siougul energy consumption is the moisture content of the product. In experiments 1 and 3, the amount of moisture on the surface is low due to the lower moisture content. This increases

the specific energy consumption since the drying period at constant speed is shorter and the decreasing speed period is longer than the constant speed.

It is expected that the specific dehumidification rate, which is another expression of energy efficiency, is parallel to the energy efficiency. Because the moisture content of the product dried in the facilities is different, the rate of specific dehumidification is low in the facilities where the product with high moisture content is dried. In the products with low moisture content, were found to be higher.

As a result of the experimental measurements, it was determined that the decrease of the air inlet temperature and the decrease of the fuel consumption. In the analysis made, energy efficiency and change in unit drying cost are achieved as a result of changing the temperature of the inlet air to play the greatest role. Apart from this, it is clear that the effects of inlet air relative humidity and corn inlet temperature on energy efficiency and unit drying cost can not be ignored.

Keywords: Drying, Corn Drying, Grain Drying, LPG Fired Drying Plant, Energy and Cost Analysis



Plastisite Modellerinde Pekleşme Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Tespiti

Emre ESENER*

*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik
emre.esener@bilecik.edu.tr ORCID: 0000-0001-5854-4834, Tel: (228) 212 12 48*

Geliş: 07.11.2018, Revizyon: 10.12.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Malzemelerin deformasyonu sırasında akma davranışının gelişim göstermesi pekleşme davranışı olarak adlandırılır. Malzemelerin plastik davranışını temsil eden plastisite modelleri sonlu elemanlar analizlerine malzeme modelleri olarak entegre edilmişlerdir. Her malzeme modeli kendi bünyesinde farklı kabuller barındırır. Pekleşme açısından plastisite modelleri değerlendirildiğinde temelde izotropik pekleşme ve kinematik pekleşme kabullerini yapan iki temel grup ortaya çıkmaktadır.

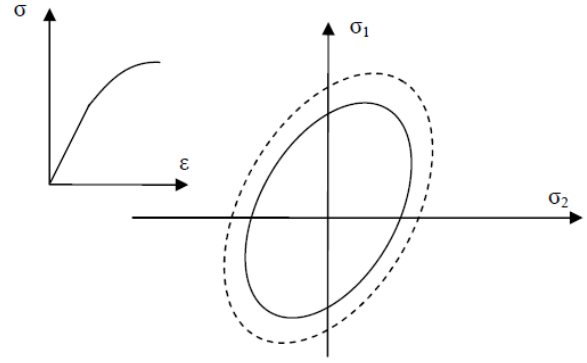
Bu çalışmada sac metal şekillendirme işlemlerinden bir panel çekme prosesi temel alınarak plastisite modellerinde pekleşme etkisinin sonlu elemanlar analizleri ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 4 farklı malzeme, izotropik ve kinematik pekleşme kabullerine sahip farklı plastisite modelleri ile modellenmiş ve pekleşme etkisinin gerilme, plastik gerinim ve şekillendirilebilirlik üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Sac metal şekillendirme; Pekleşme; Sonlu elemanlar analizi; Plastisite Modelleme.*

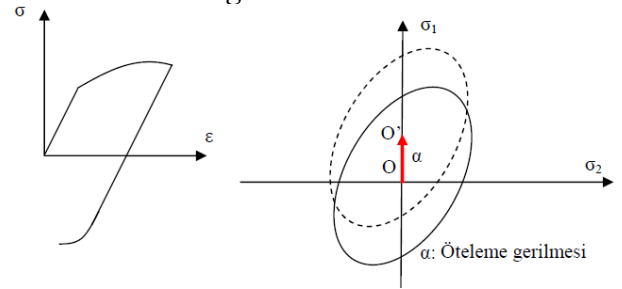
* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Plastik şekil verme yöntemleri üretim prosesleri açısından oldukça önemli bir yerde konumlanmaktadır. Yüksek toleranslarda ürün geometrisinin yakalanması, karmaşık geometri formuların elde edilebilmesi ve seri üretime yatkınlıkları en büyük avantajları arasında yer almaktadır. Plastik şekil verme kavramı, ürün geometrisinin elde edilebilmesi adına başlangıç malzeme formunun kalıcı olarak deforme edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Çapan, 2010). Metalik malzemeler ilk olarak elastik, akma gerilmesi sınırının aşılması sonrasında ise plastik deformasyona uğrarlar. Plastik deformasyon sonrasında dislokasyon yığılmalarından dolayı malzeme direnci artmakta ve şekil değişimi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum pekleşme olarak tanımlanmaktadır. Pекleşme davranışı iki boyutlu gerilme uzayında akma yüzeyleri ile temsil edilmektedir. Akma yüzeyleri kapalı, düzgün ve konveks olmalıdır. Akma yüzeylerinde, yüzey içerisindeki noktalar elastik deformasyonla ilgilidir. Akma yüzeyinin üzerindeki noktalar plastik durumla ilgili olup yüzeyin dışındaki noktalar ise fiziksel olarak bir anlam taşımazlar. Pекleşme davranışı başlangıç akma gerilmesinin deformasyon sırasındaki gelişimini gösterdiğinden akma yüzeyleri, pekleşme davranışı ile birlikte değişim sergilerler. Sergiledikleri bu değişim pekleşmenin tipini göstermektedir. Eğer akma yüzeyi deformasyon sırasında orantısız olarak genişliyorsa buna izotropik pekleşme, boyutsal olarak değişmeyip gerilme uzayında konum değiştiriyorsa bu duruma kinematik pekleşme adı verilir. Kinematik pekleşmede konum değişimi öteleme gerilmesi adı verilen bir parametre ile tanımlanır. Akma yüzeylerinin izotropik ve kinematik pekleşme durumları sırası ile Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İzotropik pekleşme davranışının şematik gösterimi



Şekil 2. Kinematik pekleşme davranışının şematik gösterimi

İzotropik pekleşmede akma davranışı çekme ve basma durumlarında aynıdır. Bu yaklaşım bazı malzemeler için doğru olmakla birlikte, genel malzeme davranışını tanımlamak adına yeterli bulunmamaktadır (Xie vd., 2018; Hakansson vd., 2005; Coombs ve Motlagh, 2017). Bu kapsamda akma yüzeyinin boyut değiştirmedeği, yalnızca yer değiştirdiği kinematik pekleşme kavramı kullanılmaktadır. Kinematik pekleşme, çekme-basma yüklemeleri sonucunda malzeme davranışını tanımlayabilmektedir. Kinematik pekleşme davranışının bu özelliği orantısız olmayan yüklem sırasında mekanik özellikleri etkileyen parametrelerden birisi olan Bauschinger etkisini dikkate alabilmesini sağlamaktadır. Bu durum genellikle gerinim yönünün değişmesi sonucu malzemenin akma gerilmesinde meydana gelen düşüşle ilgilidir (Paul vd., 2016).

Plastisite Modelleme

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak analitik çözümler kendisini hızlı bir şekilde sayısal çözümlere bırakmıştır. Mühendislik alanında sonlu elemanlar

analizlerinin kullanımı özellikle endüstriyel açıdan büyük atılımlar sağlamıştır. Deneyanılma yöntemleri ve büyük kabuller barındıran analitik ifadeler yerine artık hassas çözümler elde edilebilen ve üretimde zaman ve maliyet kazancı sağlayan sonlu elemanlar analizleri kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizleri, temel prensipte, karmaşık bir yapının basit sonlu elemanlara ayrılması sonrasında belirli sınır şartları ve dış yükler altında malzeme davranışının tahmin edilmesini içeren bir sayısal yöntemdir. Sonlu elemanlar analizlerinde en önemli husus tahmin hassasiyetidir. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli bir çok hesap parametresi barındırmakta ve bu parametreler çözüm hassasiyetine doğrudan etki etmektedir (Ahmed, 2016). Malzemelerin yük altındaki plastik davranışını tanımlayan plastisite modelleri ise sonlu elemanlar tahmin hassasiyetinde en önemli rolü oynayan parametre olarak öne çıkmaktadır (Hou vd., 2017). Şekil verme yöntemlerinde malzemede meydana gelen plastik deformasyonların modellenebilmesi için malzemenin elastik ve plastik davranışlarını tanımlayan modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu modeller sonlu elemanlar yöntemi terminolojisinde malzeme modelleri olarak adlandırılmaktadır. Doğru malzeme modelinin tespiti mühendislik açısından oldukça kritiktir. Bu kapsamda, malzeme modelleri için gerekli malzeme parametrelerinin de hassas bir biçimde belirlenmesi aynı şekilde önem arz etmektedir.

Plastik malzeme davranışı, elastik malzeme davranışından daha karmaşık bir kavramdır. Elastik malzeme davranışında, Hooke kanunu vasıtası ile gerilme ve gerinim değerleri arasında doğrudan lineer bir ilişki kurulabilmektedir. Plastik malzeme davranışında, plastik gerinimler yalnızca gerilme parametreleri ile tanımlanamazlar çünkü plastik gerinimler malzemenin tüm yükleme geçmişine ve gerilme durumuna nasıl ulaşıldığına bağlıdır (Dieter, 1961). Bir malzemenin genel gerilme durumu altında plastik davranışının modellenebilmesi için bir akma kriterine, bir akma kuralına ve bir pekleşme kuralına ihtiyaç vardır. Bu

parametrelerden akma kriterleri, akmanın olduğu andaki gerilme bileşenleri arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Akma kuralı ise gerilme ve gerinim oranı bileşenleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Son olarak şekil değişimi süresince başlangıç akma gerilmesi pekleşme kuralları vasıtası ile tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden pekleşme kuralları, pekleşme davranışının plastisite modeline çeşitli kabullere göre entegre edilme durumları çerçevesinde farklılık göstermektedir. Kimi plastisite modelleri izotropik pekleşme kabulü, kimisi ise kinematik pekleşme kabulü yapmakla birlikte günümüzde her iki durumu modelleyebilen birleşik pekleşme durumu kabulü yapan plastisite modelleri de geliştirilmiştir (Qin vd., 2018). En eski akma kriteri Tresca tarafından sunulmuş olup (Tresca, 1864) ardından von Mises kriterinin geliştirilmesi ile (Mises, 1913) plastisite modelleme bir ivme kazanmış ve günümüzde kullanılan çoğu malzeme modeli von Mises kriterinin geliştirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada izotropik ve kinematik pekleşme kabulleri yapan plastisite modellerinde pekleşme etkisinin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı pekleşme kabulleri yapan plastisite modelleri kullanılarak sac metal şekillendirme prosesi üzerinden pekleşmenin şekillendirilebilirliğe etkileri irdelenmiştir.

Uygulama Çalışması

Çalışmada pekleşme etkisinin tespiti için plastik şekil verme yöntemlerinden sac metal şekillendirme prosesi tercih edilmiştir. Sac metal şekillendirme yöntemleri başta otomotiv ve havacılık sektörleri olmak üzere çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu geniş kullanım alanının en önemli nedenleri sac metallerin mukavemet/ağırlık oranlarının oldukça iyi olması ve yüksek doğrulukta şekil alabilirliğe sahip olmalarıdır. Aynı zamanda proseste bir çok karmaşık aşamanın bulunması sonlu elemanlar analizlerinin değerlendirilmesi ve özellikle de plastisite modellerinin

anlaşılabilirliği açısından avantaj sağlamaktadır (Ingarao vd., 2009; Ozsoy vd., 2014).

Malzeme ve Yöntem

Çalışma kapsamında pekleşme etkisinin malzemeye bağlı olarak nasıl değiştiğinin tespit edilmesi de amaçlanmıştır. Bu nedenle alüminyum alaşımlarından 6022, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik (HSLA), alüminyumla deokside edilen derin çekme kalite çeliği (AKDQ) ve yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerden çift fazlı DP600 çeliği olmak üzere 4 farklı malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin plastik davranışını modellemek amacı ile izotropik pekleşme kabulü yapan Hill-48 plastisite modeli (Hill, 1948) ve kinematik pekleşme kabulü yapan Yoshida-Uemori plastisite modelleri (Yoshida ve Uemori, 2008) kullanılmıştır. Bu iki modelin tercih nedeni kendi kabulleri çerçevesinde gerek hız, gerekse de hassasiyet anlamında kendini ispatlamış modeller olmalarıdır (Awais vd., 2017; Boutenel vd., 2018).

R.Hill, 1948 yılında von Mises kriterini genelleştirerek izotropik pekleşme temelinde bir anizotropik akma kriteri geliştirmiştir. Malzemenin üç ortogonal simetri düzleminde anizotropiye sahip olması gerekmektedir. Kriter ikinci dereceden bir fonksiyon olarak Denklem (1)'deki şekilde yazılabilmektedir.

$$2f(\sigma_{ij}) = F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1 \quad (1)$$

Burada f, akma fonksiyonu, F, G, H, L, M, N malzemenin anizotropi parametreleri ve x, y, z asal anizotropik eksenlerdir. Sac metal şekillendirme gibi düzlem gerilme durumları için ise Hill-48 akma kriteri Denklem (2)'deki formu alır.

$$2f(\sigma_{ij}) = (G+H)\sigma_x^2 - 2H\sigma_x\sigma_y + (H+F)\sigma_y^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1 \quad (2)$$

Sac metal şekillendirme yöntemlerinde, anizotropi parametreleri r_0 , r_{45} , r_{90} ve asal anizotropik yönlerdeki akma gerilmeleri $X=\sigma_0$, $Y=\sigma_{90}$ olarak isimlendirilir. Anizotropi parametreleri ve F, G, H katsayıları arasındaki

ilişki Denklem (3)'te olduğu gibi gösterilebilmektedir.

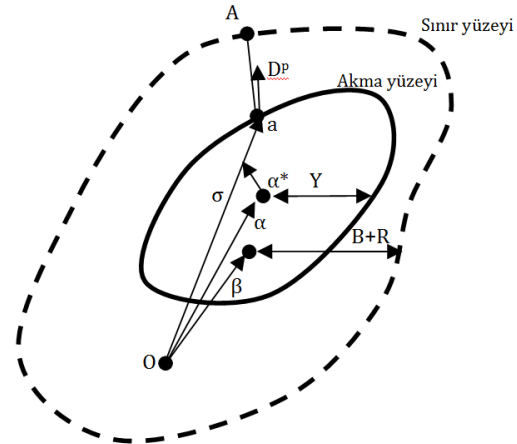
$$r_0 = \frac{H}{G}, \quad r_{90} = \frac{H}{F}, \quad \sigma_{45} = \frac{H}{F+G} - \frac{1}{2} \quad (3)$$

Son olarak akma gerilmeleri ve anizotropi parametreleri arasındaki ilişki Denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} = \sqrt{\frac{r_0(1+r_0)}{r_{90}(1+r_0)}} \quad (4)$$

Hill-48 plastisite modeli problemin durumuna göre en genel durumdan özel durumlara indirgenebilmekte olup, temelde bir elips ailesini temsil etmektedir.

Kinematik pekleşme kabulü yapan Yoshida-Uemori plastisite modeli, Chaboche plastisite modelinin (Lemaitre ve Chaboche, 1990) daha hassas tahminler yapabilmesi adına geliştirilmiş halidir. Bu teori, pekleşme kuralını tanımlayan iki yüzeye ihtiyaç duyar. Bunlar; akma yüzeyi ve sınır yüzeyidir. Şekillendirme prosesinde, akma yüzeyi boyut olarak değişmez fakat deformasyonla akma yüzeyinin merkez noktası hareket eder, sınır yüzeyi ise hem şekil olarak hem de konum olarak değişir. Bu iki yüzeyli modelin şematik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yoshida-Uemori modelinde akma yüzeylerinin şematik gösterimi (Ls-Dyna Theoretical Manual, 1998)

Burada, "O" akma yüzeyinin merkez noktasıdır, α^* , akma yüzeyinin mevcut durumdaki merkezidir ve α ise sınır yüzeyin merkezidir. β , iki yüzeyin merkez noktaları arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Y, akma yüzeyinin boyutudur

ve deformasyon süresince değişmemektedir. $B+R$, sınır yüzeyinin boyutunu temsil etmektedir, R izotropik pekleşme ile ilişkilidir. Bu durum Denklem (5)'te modellenmiştir.

$$\alpha_* = \alpha - \beta$$

$$\alpha_* = c \left[\frac{a}{Y} (\sigma - \alpha) - \sqrt{\frac{a}{\alpha_*}} \alpha_* \right] \varepsilon^p \quad (5)$$

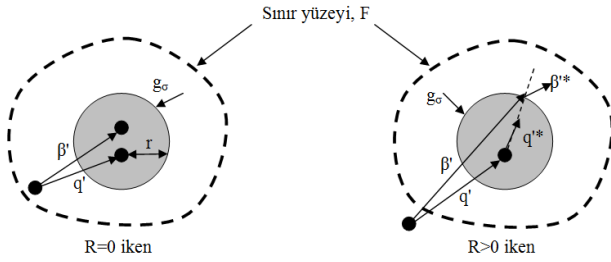
$$a = B + R - Y$$

Sınır yüzeyinin boyut ve konum değişimi ise Denklem (6)'daki şekilde tanımlanır. Bu durumun şematik gösterimi ise Şekil 4'te verilmiştir.

$$\dot{R} = k(R_{sat} - R) \dot{\varepsilon}^p$$

$$\dot{\beta}' = k \left(\frac{2}{3} bD - \beta' \dot{\varepsilon}^p \right) \quad (6)$$

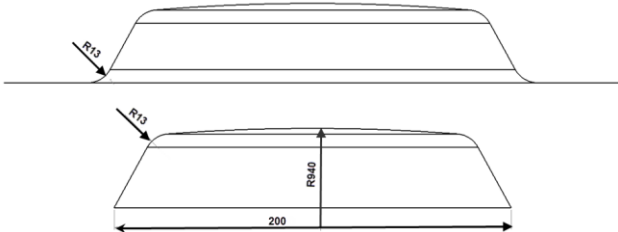
$$\sigma_{sınır} = B + R + \beta$$



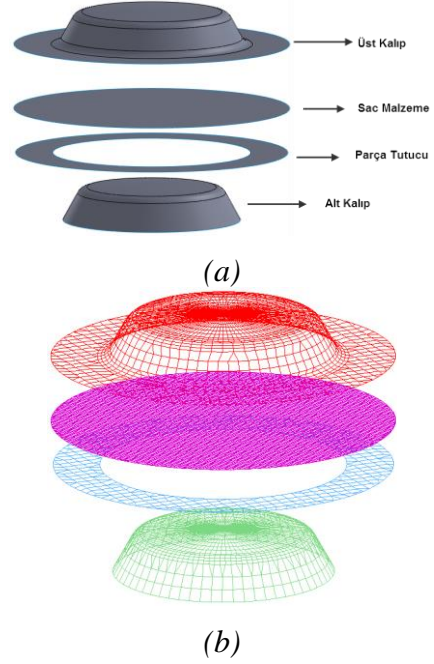
Şekil 4. Sınır yüzeyi (Ls-Dyna Theoretical Manual, 1998)

Sonlu Elemanlar Analizleri

Çalışma kapsamında yukarıda anlatılan plastisite modelleri sac metal şekillendirme yöntemlerinden bir panel çekme prosesi üzerinden incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak kalıp takım yüzeyleri modellenmiş ve sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Panel çekme prosesine ait kalıp geometrisi Şekil 5'te sonlu elemanlar modeli ise Şekil 6'da verilmiştir.

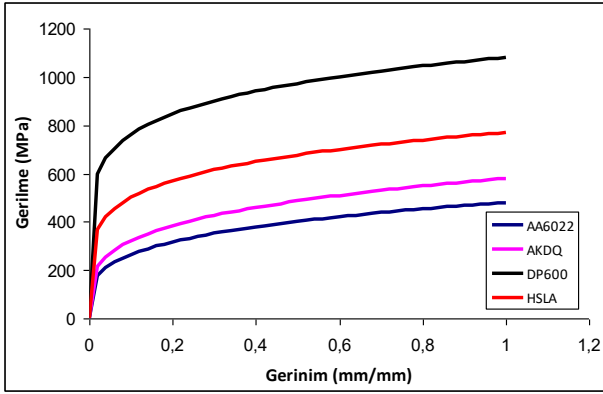


Şekil 5. Panel çekme prosesi kalıp geometrisi



Şekil 6. Panel çekme prosesi (a) kalıp takım yüzeyleri (b) sonlu elemanlar modeli

Sonlu elemanlar analizleri Ls-Dyna sonlu elemanlar paket programı kullanılarak adımli çözüm metodu ile gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman olarak düzlem gerilme kabuk eleman formülasyonu kullanılmış ve üst kalıp elemanında 2054 adet, alt kalıp elemanında 1388 adet, parça tutucuda 408 adet ve sacda 8581 adet olmak üzere toplam modelde 12431 adet eleman oluşturulmuştur. Kullanılan her malzeme için $\varepsilon=1$ değerine kadar analitik olarak elde edilen gerilme-gerinim eğrileri Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Malzemelerin plastisite modellerinde kullanılan mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiş olup Tablo 2'de ise sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan hesaplama ve proses parametreleri verilmiştir. Tüm malzemeler için proses ve hesaplama parametreleri sonlu elemanlar modellerinde aynı olup yalnızca plastisite modelleri değişken olarak kullanılmış böylelikle pekleşme etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Belirtilen koşullar altında her malzeme için Hill-48 ve Yoshida-Uemori plastisite modelleri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Çalışma kapsamında kullanılan malzemelere ait analitik çekme eğrilerinin karşılaştırılması

Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin plastisite parametreleri (Ghaei, 2010)

MALZEME	AA6022	AKDQ	DP600	HSLA
HILL-48 PLASTİSİTE MODEL PARAMETRELERİ				
AKMA GERİLMESİ (MPa)	135	158	420	394
ELASTİSİTE MODÜLÜ (GPa)	70	206	206	206
MUKAVEMET KATSAYISI (MPa)	479,9	579,9	1080,7	770
PEKLEŞME ÜSTELİ	0,258	0,256	0,152	0,187
HADDE YÖNÜNDE ANİZOTROPİ	1,029	1,546	0,821	0,581
HADDE YÖNÜNE 45°'DE ANİZOTROPİ	0,532	1,508	0,915	1,166
HADDE YÖNÜNE DİK ANİZOTROPİ	0,728	1,942	0,905	1,013
YOSHIDA-UEMORI PLASTİSİTE MODEL PARAMETRELERİ				
B (MPa)	150	190	555	400
C	700	300	200	200
R _{SAT} (MPa)	130	240	190	195
K	13	8,5	12	8
B (MPa)	40	10	110	30
H	0,01	0,7	0,9	0,8

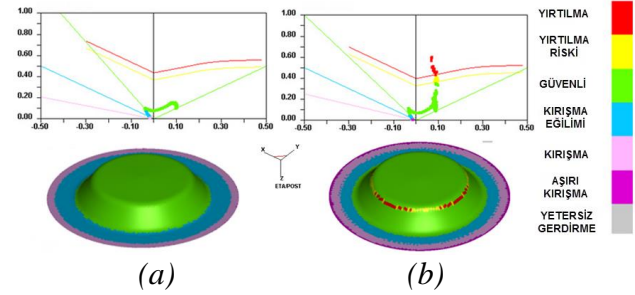
Tablo 2. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan parametreler

Üst kalıp hızı	2000 mm/s
Sürtünme katsayısı	0.125
Parça tutucu kuvvet	622 kN
Çekme derinliği	40 mm
Malzeme kalınlığı	1,5 mm
İntegrasyon nokta sayısı	7
Eleman formülasyonu	Tam integrasyon
Eleman tipi	Kabuk eleman

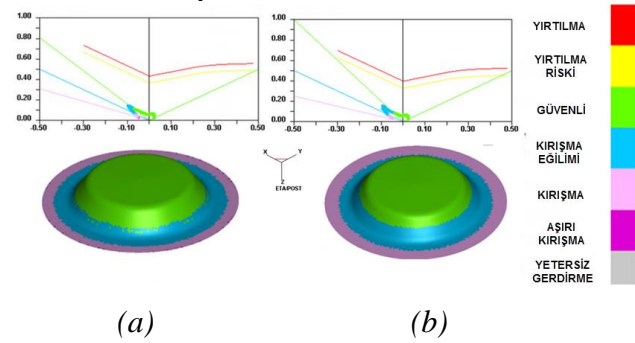
Sonuçlar ve Değerlendirme

Simülasyonların gerçekleştirilmesinin ardından sonlu elemanlar analizi sonuçları plastisite modelleri açısından değerlendirilmiştir. Panel çekme işlemi sonrasında ilk olarak malzemelerin şekillendirilebilirliklerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramları (ŞSD) elde edilmiştir. Malzemelere ŞSD'ler Şekil 8-11'de verilmiştir. ŞSD'ler incelendiğinde çelik malzemeler açısından şekillendirilebilirlik tahminlerinin pekleşme kuralları açısından farklılık arz eden her iki plastisite modeli ile de

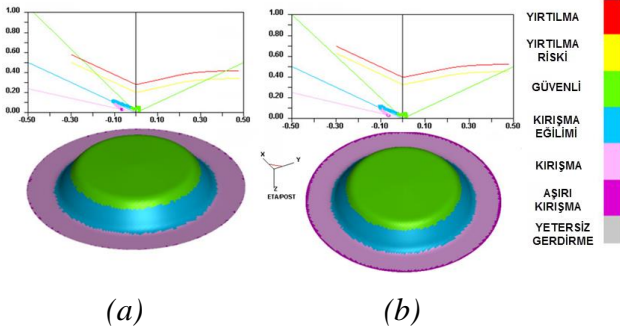
yırtılma, kırışma ve gerdirme açısından yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Her iki model de çelik malzemeler açısından güvenli bir şekillendirme ve benzer gerinim değerlerini göstermektedir. Fakat alüminyum alaşımı açısından bakıldığında Hill-48 modeli güvenli bir şekillendirme tahmini gerçekleştirirken Yoshida-Uemori modeli alüminyum için bir yırtılma öngörmektedir. Alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik özellikleri çelik malzemelere göre kafes yapıları gereği daha iyi olması ve alüminyum malzemenin 1,5 mm kalınlığı ile çelik malzemelere göre daha kalın olması göz önüne alındığında Hill-48 modelinin yırtılma tahmininin daha doğru olduğu görülmektedir. Bu kalınlık seviyesindeki alüminyum malzemeler için bu gerinim seviyelerinde bir yırtılma beklenilmemektedir.



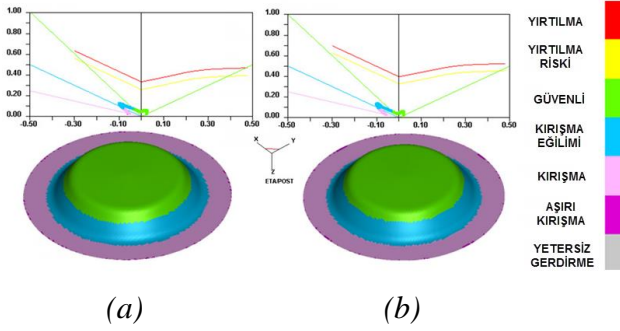
Şekil 8. 6022 alüminyum alaşımına ait şekillendirme sınır diyagramı (a) Hill-48 plastisite modeli ile (b) Yoshida-Uemori plastisite modeli ile



Şekil 9. AKDQ çeliğine ait şekillendirme sınır diyagramı (a) Hill-48 plastisite modeli ile (b) Yoshida-Uemori plastisite modeli ile

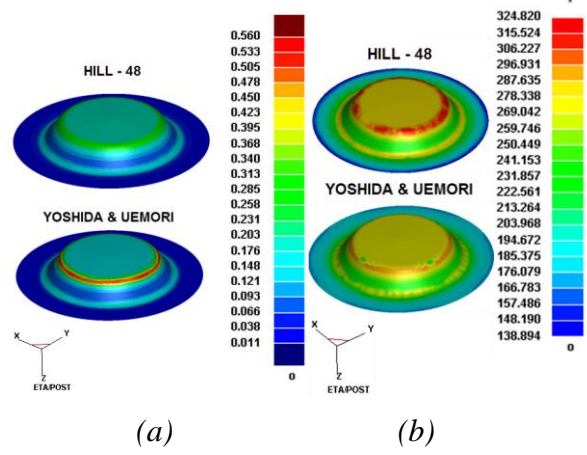


Şekil 10. DP600 çeliğine ait şekillendirme sınır diyagramı (a) Hill-48 plastisite modeli ile (b) Yoshida-Uemori plastisite modeli ile

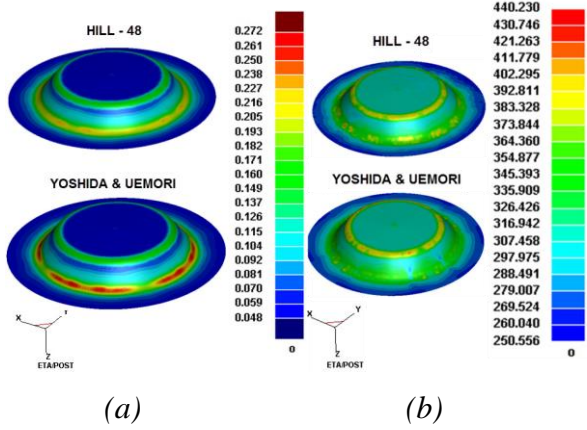


Şekil 11. HSLA çeliğine ait şekillendirme sınır diyagramı (a) Hill-48 plastisite modeli ile (b) Yoshida-Uemori plastisite modeli ile

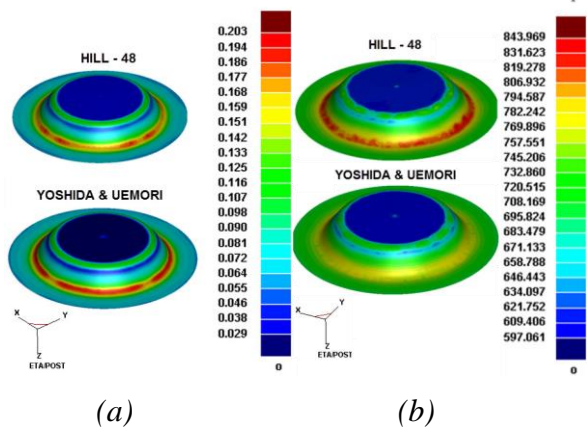
Bir sonraki değerlendirme malzemelerin plastik gerinim ve efektif gerilme değerleri üzerinden yapılmıştır. Malzemelere ait plastik gerinim ve efektif gerilme dağılımları Şekil 12-15'te verilmiştir. Tüm modeller incelendiğinde alüminyum alaşımı dışında çelik malzemelerin tamamında efektif gerilme değerlerine bakıldığında her iki plastisite modeli tahminlerinin benzer seviyede olduğu görülmektedir. Bu durumu desteklemek adına gerinim değerlerine bakıldığında her iki plastisite modelinin gerinim değerlerinde de birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu iki durum da birbirini desteklemektedir, gerinim değerlerindeki yakınlık efektif gerilme değerlerine de yansımıştır. Alüminyum alaşımı açısından modeller arasındaki farklılık kinematik pekleşme modelinin bir yırtılma öngörmesi sonucu plastik gerinim değerlerinin kinematik pekleşme modelinde daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



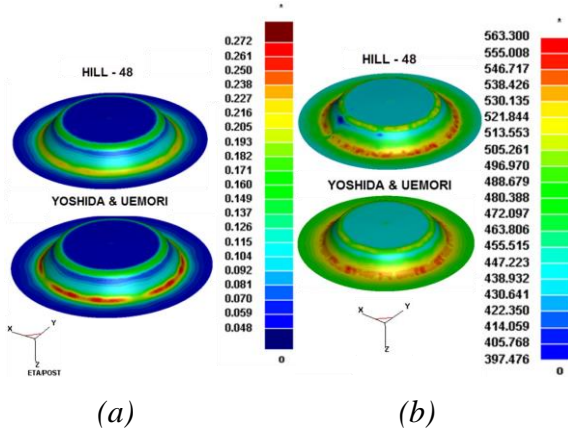
Şekil 12. 6022 alüminyum alaşımına ait (a) plastik gerinim (b) maksimum von-Mises efektif gerilme dağılımları



Şekil 13. AKDQ çeliğine ait (a) plastik gerinim (b) maksimum von-Mises efektif gerilme dağılımları

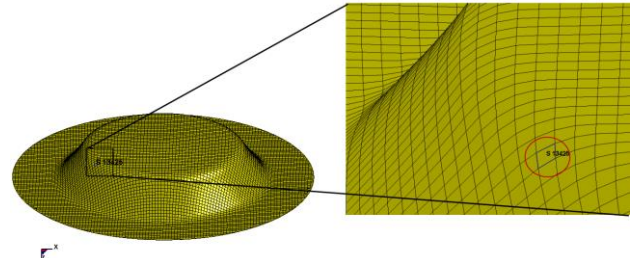


Şekil 14. DP600 çeliğine ait (a) plastik gerinim (b) maksimum von-Mises efektif gerilme dağılımları

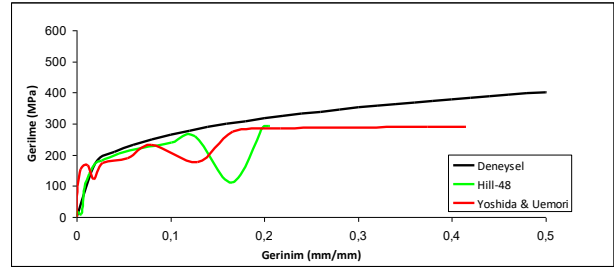


Şekil 15. HSLA çeliğine ait (a) plastik gerinim (b) maksimum von-Mises efektif gerilme dağılımları

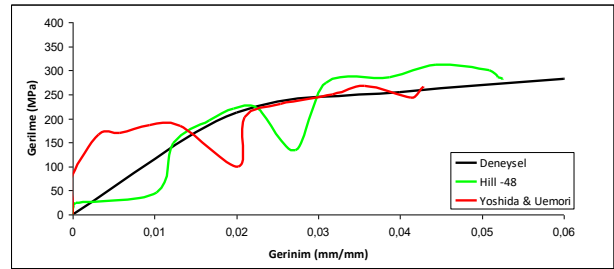
Her iki modelin de performansını karşılaştırma amacıyla her simülasyon için omuz bölgesinden aynı eleman seçilerek elemana ait gerilme-gerinim eğrisi oluşturulmuş ve bu eğri malzemeye ait deneysel çekme eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Seçilen elemana ait görsel Şekil 16'da verilmiştir. Karşılaştırma sonuçları ise Şekil 17-20'de görülmektedir. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde AA6022 malzemesi için her iki plastisite modelinin de benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat Yoshida&Uemori plastisite modelinin daha fazla plastik deformasyon öngörmesinden dolayı elemana ait gerilme-gerinim eğrisi de daha fazla deformasyon öngörmektedir. Çelik malzemeler için ise sonuçlar incelendiğinde Hill-48 modelinin gerilme-gerinim eğrisini daha başarılı bir şekilde öngörebildiği tespit edilmiştir. İzotropik pekleşme davranışı şekillendirilebilirlik açısından kinematik pekleşme modeline göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Sac metal şekillendirme proseslerinde şekil bozukluğu tahmini gibi kapalı adımlı iteratif çözüm gerektiren problemlerde ise Bauschinger etkisini de dikkate alabilen kinematik pekleşme modellerinin daha başarılı tahminler yaptığı bilinmektedir (Peng vd., 2013; Chongthairungruang vd., 2013). Sonuç olarak özellikle çelik malzemeler için şekillendirilebilirlik simülasyonlarında Hill-48 plastisite modelinin başarılı olduğu tespit edilmiştir.



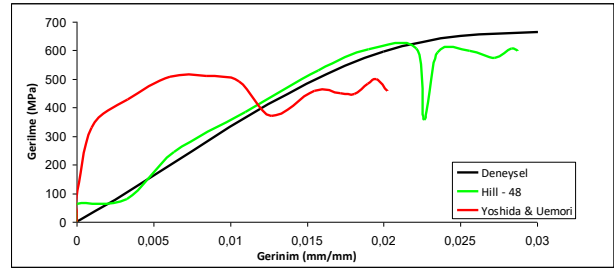
Şekil 16. Gerilme-gerinim sonuçlarının elde edildiği omuz bölgesinden seçilen eleman



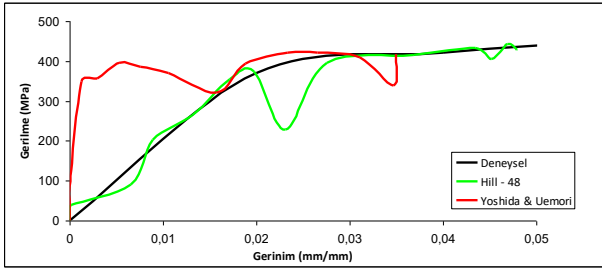
Şekil 17. Alüminyum 6022 alaşımı için omuz bölgesindeki elemana ait gerilme-gerinim eğrisinin deneysel eğri ile karşılaştırılması



Şekil 18. AKDQ çeliği için omuz bölgesindeki elemana ait gerilme-gerinim eğrisinin deneysel eğri ile karşılaştırılması

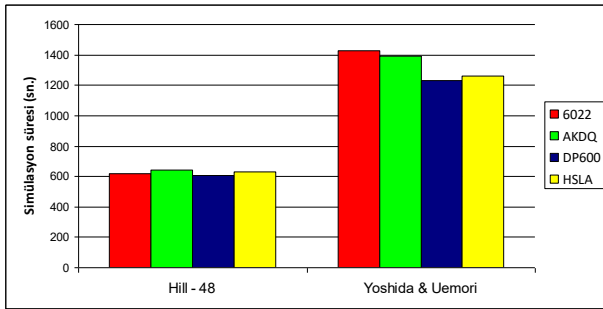


Şekil 19. DP600 çeliği için omuz bölgesindeki elemana ait gerilme-gerinim eğrisinin deneysel eğri ile karşılaştırılması



Şekil 20. HSLA çeliği için omuz bölgesindeki elemana ait gerilme-gerinim eğrisinin deneysel eğri ile karşılaştırılması

Genel bir doğrulama yapılması adına parçada en fazla deformasyona uğrayan omuz bölgesinden seçilen bir sonlu elemana ait gerilme-gerinim değerleri malzemelere ait çekme eğrileri ile karşılaştırıldığında çelik malzemeler için Hill - 48 modelinin daha doğru sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Bu durumların dışında özellikle endüstriyel açıdan oldukça önemli olan simülasyon süreleri de dikkate alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Simülasyonlar Intel(R) Core(TM) i5 - 4310U 2.00 Ghz hızında işlemcili ve 8 GB ram'e sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiş olup, simülasyon sürelerine ait karşılaştırma sonucu Şekil 21'de verilmiştir. Görüldüğü üzere Hill -48 modeli simülasyon süresi açısından da üstünlüğe sahiptir.



Şekil 21. Her iki plastisite modeli için simülasyon sürelerinin karşılaştırılması

Kaynaklar

- Ahmed, M., (2016). Adaptive finite element simulation of sheet forming process parameters. Journal of King Saud University-Engineering Sciences.
- Awais, M., Sorvari, J., Tanninen, P., & Leppänen, T., (2017). Finite element analysis of the press

- forming process. International Journal of Mechanical Sciences, 131, 767-775.
- Boutenel, F., Delhomme, M., Velay, V., & omain Boman, R., (2018). Finite element modelling of cold drawing for high-precision tubes. Comptes Rendus Mécanique, In press.
- Chongthairungruang, B., Uthaisangsuk, V., Suranuntchai, S., Jirathearanat, S., (2013). Springback prediction in sheet metal forming of high strength steels, Materials and Design, 50:253-266.
- Coombs, W. M., & Motlagh, Y. G., (2017). NURBS plasticity: Yield surface evolution and implicit stress integration for isotropic hardening. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 324, 204-220.
- Çapan, L., (2010), Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, 5. Baskı, İstanbul.
- Dieter, G. E., (1961). Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company.
- Ghaei A., (2010). Modeling Springback in Stamped Automotive Structures, Electronic Theses and Dissertations, Doktora Tezi, Mechanical, Automotive & Materials Engineering, The University of Windsor.
- Hakansson, P., Wallin, M., & Ristinmaa, M., (2005). Comparison of isotropic hardening and kinematic hardening in thermoplasticity. International Journal of Plasticity, 21(7), 1435-1460.
- Hill, R., (1948). A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals, Proc. Roy. Soc. London, pp.281-297.
- Hou, Y., Min, J., Lin, J., Liu, Z., Carsley, J. E., & Stoughton, T. B., (2017). Springback prediction of sheet metals using improved material models. Procedia Engineering, 207, 173-178.
- Ingarao, G., Di Lorenzo, R., & Micari, F., (2009). Analysis of stamping performances of dual phase steels: a multi-objective approach to reduce springback and thinning failure. Materials & Design, 30(10), 4421-4433.
- Lemaitre, J., Chaboche, JL., (1990). Mechanics of solid materials, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ls-Dyna Theoretical Manual, (1998). Livermore Software Technology Corporation.
- Mises, R., (1913). Mechanics of solids in plastic state (Almanca), Göttinger Nachrichten Math. Phys. Klasse, p.582.
- Ozsoy, M., Esener, E., Ercan, S., & Firat, M., (2014). Springback predictions of a dual-phase steel considering elasticity evolution in stamping process. Arabian Journal for Science and Engineering, 39(4), 3199-3207.

- Paul, J. D., Hoppe, R., & Appel, F., (2016). On the Bauschinger effect in TiAl alloys. *Acta Materialia*, 104, 101-108.
- Peng, X., Shi, S., Hu, K., (2013). Comparison of material models for springback prediction in an automotive panel using finite element method, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(10):2290-2296.
- Qin, J., Holmedal, B., & Hopperstad, O. S., (2018). A combined isotropic, kinematic and distortional hardening model for aluminum and steels under complex strain-path changes. *International Journal of Plasticity*, 101, 156-169.
- Tresca, H., (1864). On the yield of solids at high pressures (Fransızca), *Comptes Rendus Academie des Sciences, Paris* 59, pp.754.
- Xie, Q., Van Bael, A., An, Y. G., Lian, J., & Sidor, J. J., (2018). Effects of the isotropic and anisotropic hardening within each grain on the evolution of the flow stress, the r-value and the deformation texture of tensile tests for AA6016 sheets. *Materials Science and Engineering: A*, 721, 154-164.
- Yoshida, F., Uemori, (2002). T., A model of large-strain cyclic plasticity describing the Bauschinger effect and workhardening stagnation, *Int. J. Plasticity*, 18:661-689.

Determining Hardening Effect In Plasticity Models Using Finite Element Analysis

Extended abstract

Sheet metal parts are getting more widespread instead of casting, machining and forging parts due to its functionality, simplicity and easily controllable production parameters. New fuel economy and emission regulations create its own dynamism in sheet metals used in automotive industry. The first-generation high-strength steels like DP, TRIP, CP, Manganese-Boron are therefore produced with a lower cross-sectional area for higher strength and still used in the automotive industry. In this area, researches are ongoing and new generation steels are developing with higher strength but less uniform elongation. Formability of sheet metals has a critical precaution at the design stage of processes. For this reason determining the plastic behavior of materials is a critical step especially in numerical analyses, and hardening of the material must be described in plasticity models.

Hardening can be described as the improvement of materials' flow behavior. Plasticity models, which represents plastic behavior of materials, are integrated as "material models" into finite element analysis. Each material model have different assumptions. Plasticity models can be grouped as isotropic and kinematic hardening models with the perspective of material hardening.

In this study, hardening effects in plasticity models were investigated by sheet metal panel forming process using finite element analysis. For this purpose, 4 different materials were modeled using different plasticity models, and hardening effects were investigated by means of stress, plastic strain, and formability.

For this purpose, aluminum alloy 6022, high strength low alloy steel (HSLA), aluminum killed drawing quality steel (AKDQ), and dual phase DP600 steel were used in studies. Hill-48 isotropic hardening model, and Yoshida-Uemori kinematic hardening plasticity models were used to determine plastic behavior of the materials.

These models were applied on a panel sheet metal forming process. For this pupose, die tools were designed and finite element model is generated.

Results were investigated by means of plasticity modelling. Firstly, formability of the materials were compared. For this purpose, formability limit diagrams were used in comparisons. As a result, it is seen that the formability predictions were similar by the perspective of plasticity models. Than, comparison of efective plastic strain, and efective stress values were applied. It is seen that results were similar by means of prediction accuracy except aluminum alloy. This difference occurs from hardening effect.

As a general result, it is seen that finite element analyses prediction of different hardening models were similar except aluminum alloy. A validation of the models were obtained by a finite element from the shoulder of the part. The stress-strain results of the element was compared with the experimental stress-strain curves of the materials. It is seen that the Hill-48 plasticity model made the most accurate prediction for all materials.

Keywords: Sheet metal forming, Hardening, Finite element analysis, Plasticity Modeling.



Ters kavisli kesite sahip bükümlü bantların termohidrolik performansları

Müslüme KÖŞKER

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
mkosker@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0002-1005-5289

Fuat YILMAZ*

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
fuatylmaz@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0001-8910-7231, Tel: (342) 317 25 73

Geliş: 29.11.2018, Revizyon: 01.01.2019, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Dairesel bir tüp içindeki ters kavisli kesitli bükülmüş bantların, ısı transferi, basınç düşüşü ve performans değerlendirme kriterleri (PDK) üzerindeki etkileri ANSYS Fluent v18 yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Analizler, üç farklı ters kavis çapının boru çapına oranını (0.872, 0.647 ve 0.554) ve iki farklı büküm oranını (3.0 ve 4.0) içermektedir. Çözümlemeler 5800 ila 30000 Reynolds sayısı aralığında hava kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dış boru duvarına sabit ısı akışı uygulanmıştır. Sonuçlar, ısı transfer performansının büyük ölçüde bükümlü bant geometrisine bağlı olduğunu göstermiştir. Ters kavisli kesite sahip bükülmüş bantın Nusselt sayısı %0 ila %85 aralığında ve sürtünme faktörü %123 ila %238 aralığında düz borudan daha yüksek bulunmuştur. Ters kavisli bükülmüş bantın PDK değeri çalışılan Reynolds sayısı aralığında 0.75 ile 1.23 arasında bulunmuştur. En yüksek PDK değeri, maksimum çap oranı ve minimum büküm oranı için 5849 Reynolds sayısında 1.23 olarak hesaplanmıştır. Ters kavisli bükümlü bant ile teşhiz edilmiş tüpün Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve PDK'sı için istatistiksel korelasyonlar geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ters kavisli bükümlü bant; ısı transferinin iyileştirmesi; ısı verim; sayısal analiz

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler nedeniyle günlük yaşamda daha fazla enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu nedenle günümüzün en önemli konulardan biri özellikle sanayide doğal kaynakların verimli kullanımı ve ısı transferinin artırılmasıdır. Pasif teknik popüler olarak ısı transfer geliştirme teknikleri arasında literatürde yer almaktadır. Bükümlü bantlar ısı transferi artırımı için tüm tüp uzunluğu boyunca ikiz döner akış hareketi oluşturan ve yaygın olarak kullanılan sürekli döner akış cihazlarının pasif tiplerinden biridir. Mevcut bir borulu ısı eşanjörüne kolaylıkla kurulması ve sökülebilmesi, düşük imalat maliyeti, bükümlü bantların avantajlarından bazılarıdır.

Son zamanlarda, farklı bükülmüş bant geometrisi modifikasyonlarına sahip olan tüplerin termal-hidrolik performansı üzerindeki etkilerine ilişkin kapsamlı derleme makaleleri literatürden elde edilebilir (Dewan vd., 2004; Garg vd., 2016; Hasanpour vd., 2014; Liu ve Sakr, 2013; Sheikholeslami vd., 2015). Bu çalışmalarda, klasik bükümlü bantın (Kumar ve Prasad, 2000), bantın büküm oranının (Eiamsa-ard ve Seemawute, 2012; Noothong vd., 2006), bükümlü bantların uzunluklarının (Eiamsa-Ard vd., 2009a), alternatif eksen kombinasyonlarının (Eiamsa-Ard vd., 2010b), çoklu bükülmüş bant kombinasyonlarının (Eiamsa-Ard ve Promvonge, 2010), bant üzerindeki deliklerin (Saysroy ve Eiamsa-ard, 2017), kanatlı bükülmüş bantların (Eiamsa-Ard vd., 2010b; Wongcharee ve Eiamsa-Ard, 2011), helisel bükülmüş bantların (Sivashanmugam ve Suresh, 2006), çentikli bükülmüş bantların (Rahimi vd., 2009), genişliği azalan bükümlü bantların (Piriyarungrod vd., 2015), gevşek geçme ve sıkı geçme bükümlü bantların (Eiamsa-Ard vd., 2009b), tamamıyla merkezi kesilmiş bükümlü bantların (Guo vd., 2011), çıkıntılı bükümlü bantların (Murugesan vd., 2010), çukurlu tüp içindeki bükülmüş bantların (Thianpong vd., 2009), bir boru içindeki sarmal tel içindeki bükülmüş bantların (Eiamsa-Ard vd., 2010a; Promvonge, 2008) ısı transfer performansları üzerine etkilerini göstermektedir.

Literatüre göre, bükümlü bant elemanlarının ısı transfer oranı ve basınç düşüşü, güçlü türbülans oluşturmaları ve akışkan karıştırmaları nedeniyle boru veya kanaldaki elemanların geometrisine ve düzenlemesine büyük ölçüde bağlıdır. Literatürde ısı transferi ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen, bu çalışmanın diğerlerinden farkı dairesel bir tüpte ters kavisli kesite sahip bükülmüş bantlardan oluşmasıdır. Bu çalışmada analiz için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tekniği kullanılmıştır ve bu da, deneysel bir sistem kurmadan, birçok veri ile geometriyi analiz etme fırsatı yaratmıştır.

Matematiksel Model ve Sayısal Yöntem

Korunum Denklemleri

Ters kavisli kesite sahip bükülmüş bant yerleştirilmiş bir tüpteki akış modeli ve ısı transfer mekanizmasının daha iyi anlaşılması için hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodu olan ANSYS Fluent v18 kullanılmıştır. Akış zamandan bağımsız, üç boyutlu ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiş ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonuna sahip standart k-ε türbülans kapatma modeli uygulanmıştır. Yapılan nümerik çözümlemede, mutlak yakınsama kriterleri süreklilik ve momentum için 10^{-6} 'dan daha az, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılıma oranı için 10^{-5} 'den daha az olacak şekilde ayarlanmıştır. Tüm miktarların artıkları belirlenen değerlerden daha az olduğunda, çözümün yakınsadığı kabul edilmiştir. Analizde kullanılan, kartezyen tensörü notasyonunda süreklilik, Navier-Stokes ve enerji korunum denklemleri aşağıdaki formlarda yazılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_e \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

Sayısal Veri Analizi

Bu bölümde, bu çalışmanın sonuçlarını sunmak için kullanılan parametreler verilmiştir. Borunun iç duvarından akışkana taşınım ısı transferi için,

taşınım ısı transfer katsayısı aşağıdaki denklemle verilir. Hesaplama sabit ısı akışının değeri kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

$$h = \frac{\dot{q}}{T_{duvar} - T_{oa}} \quad (4)$$

Denklemden, T_{oa} ortalama akışkan sıcaklığıdır ve aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmiştir.

$$T_{oa} = \frac{T_{giriş} + T_{çıkış}}{2} \quad (5)$$

Isı transfer katsayısı kullanılarak bölgesel Nusselt sayısı aşağıdaki denklemle boru eksenine boyunca hesaplanmış, sonrada, hesaplanan değerlerin ortalaması elde edilmiştir.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (6)$$

Reynolds sayısı aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (7)$$

Burada, u ortalama hız ve ν ısı transfer akışkanının kinematik viskozitesidir. Tüp boyunca basınç düşüşü verileri kullanılarak, sürtünme faktörü, aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$f = \frac{2 \Delta P D}{\rho u^2 L} \quad (8)$$

Yoğunluk, özgül ısı, termal iletkenlik, dinamik viskozite ve Prandtl sayısı ortalama sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki uyarılan denklemlerle hesaplanmıştır. Bu denklemlerde havanın termofiziksel özellikleri Cengel ve Ghajar (2015)'den alınmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda R kare değerleri verilen dört denklem içinde 0.999 olarak tespit edilmiştir.

$$\rho(T) = 5.2743141 - 0.032058887 * T + 0.00010144429 * T^2 - 1.7632128 * 10^{-7} * T^3 + 1.5972391 * 10^{-10} * T^4 - 5.8969555 * 10^{-14} * T^5 \quad (9)$$

$$\mu(T) = -1.8863695 * 10^{-6} + 1.0488067 * 10^{-7} * T - 1.9202761 * 10^{-10} * T^2 + 3.0654976 * 10^{-13} * T^3 - 2.7810282 * 10^{-16} * T^4 + 1.0495643 * 10^{-19} * T^5 \quad (10)$$

$$k(T) = 0.011221616 - 2.4090078 * 10^{-5} * T + 4.6890125 * 10^{-7} * T^2 - 1.0489067 * 10^{-9} * T^3 + 1.0882259 * 10^{-12} * T^4 - 4.4011087 * 10^{-16} * T^5 \quad (11)$$

$$C_p(T) = 567.13174 + 5.4217196 * T - 0.025812614 * T^2 + 5.875834 * 10^{-5} * T^3 - 6.3573659 * 10^{-8} * T^4 + 2.6621072 * 10^{-11} * T^5 \quad (12)$$

$$Pr(T) = 0.53988791 + 0.0031265297 * T - 1.6264787 * 10^{-5} * T^2 + 3.6645885 * 10^{-8} * T^3 - 3.8582455 * 10^{-11} * T^4 + 1.5660501 * 10^{-14} * T^5 \quad (13)$$

Akış alanındaki termo-fiziksel özellikler verilen denklemlere göre analiz sırasında değerlendirilmektedir.

Performans değerlendirme kriteri (Webb, 1981), bükülmüş bant ile donatılmış tüp ve düz boru için belirli bir pompalama gücündeki Nusselt sayısını ve sürtünme faktörünü karşılaştırır.

$$PDK = \frac{\left(\frac{Nu}{Nu_p}\right)}{\left(\frac{f}{f_p}\right)^{1/3}} \quad (14)$$

Bu çalışmada, pürüzsüz borular için Gnielinski (1976)'nin Nusselt sayısı ve Petukhov (1970)'un sürtünme faktörü denklemleri kullanılmıştır.

$$Nu_p = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1 + \left(12.7 \sqrt{\frac{f}{8}}\right) * \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (15)$$

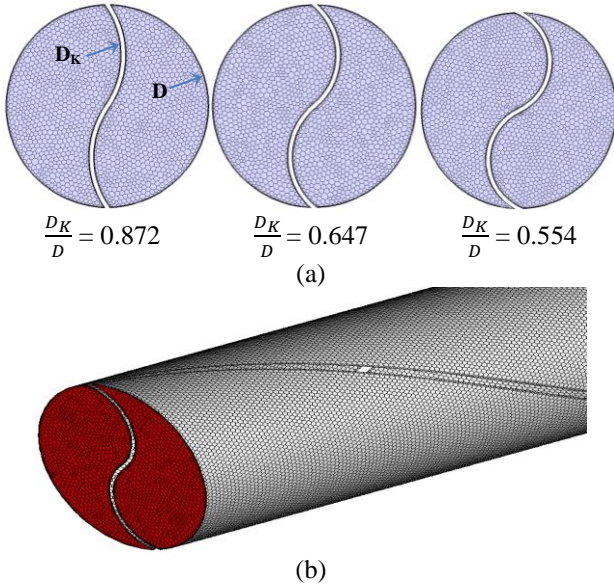
$$f_p = (0.79 * \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (16)$$

Geometri ve Ağ Yapısı

Çözümlemesi yapılan borunun iç çapı 50.8 mm iken, uzunluğu 1400 mm'dir. Üç farklı ters kavis çapı ve iki farklı büküm oranı kullanılan çalışmada, altı farklı ters kavisli bükümlü bant için kod isimleri ve ters kavis çap oranları Tablo 1'de verilmiştir. Boru duvarına uygulanan sabit bir ısı akışı altında 12 farklı Reynolds sayısında, geometrilerin ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Analizin çözümleme alanı üç boyutlu olarak ANSYS Design Modeler programı ile oluşturulmuştur. Üç boyutlu geometrisinin oluşturulmasından sonra, ANSYS meshing aracı kullanılarak, en iyi ağ yoğunluğunu analiz etmek için farklı ağ yapıları üretilmiştir. Bunun yanında, üçgen ve poligonal ağ yapılarının etkileri incelenmiş, literatürle uyumundan dolayı poligonal ağ yapısı mevcut araştırmada simülasyon yapmak için seçilmiştir. Bükülmüş bant geometrisinin giriş kısmında ağ yapısı ve akış etki alanının ağ yapısının izometrik görünüşü Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 2'de gösterilen bükülme uzunluğu mesafesinin (ℓ , 180° dönme açısı için) boru iç çapına oranı büküm oranı olarak tanımlanır. Analizi yapılan geometriler iki farklı büküm oranına (3 ve 4) sahiptir.

Tablo 1. Ters kavisli bükümlü bant kodlaması

BÜKÜMLÜ BANT KODU	TERS KAVIS ÇAPI $D_K(mm)$	BÜKÜM ORANI $(TR= l/D)$	TERS KAVIS ÇAPININ BORU ÇAPINA ORANI D_K/D
R1TR3	44.322	3.0	0.872
R2TR3	32.882	3.0	0.647
R3TR3	28.162	3.0	0.554
R1TR4	44.322	4.0	0.872
R2TR4	32.882	4.0	0.647
R3TR4	28.162	4.0	0.554



Şekil 1. (a) Boru girişindeki ters kavisli bant poligonal ağ yapısı ve (b) ağ yapısının izometrik görünüşü

Sınır Şartları

Akışkan özellikleri, çalışma koşulları ve sınır koşulları, korunum denklemlerin çözümü için gerekli olan temel bilgilerdir. Simülasyonlarda, boru girişinde 298.15 K sıcaklığında sabit bir hava akışı ayarlanmıştır. Havanın termo-fiziksel özellikleri, sıcaklığa bağlı olarak 9 ila 13 arasındaki denklemler vasıtasıyla, analiz alanında değişmektedir. Boru boyunca düzenli ve 3 W/m^2 ısı akışı uygulandığı kabul edilerek 5800 ila 31000 arasındaki Reynolds sayısı aralığında analizler yapılmıştır. Boru ve bant duvarları boyunca pürüzlülük yok kabul edilmiş ve türbülans yoğunluğu (Fluent, 2018) Reynolds sayısının bağlı olarak aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmiştir.

$$I = 0.16 * Re^{-1/8} \quad (17)$$

Hesaplanan bu değerler, %4.9 ile %5.9 arasında olup, farklı Reynolds sayısına ait analiz çalışmaları için ANSYS Fluent v18 programa girilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmanın başlangıcında, uygulanan sayısal yöntemin doğrulanması için, sayısal sonuçlar, tipik bükümlü bant için literatürde rapor edilen Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında yapılan analizlerde ters kavisli bükümlü bandın Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve PDK değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Analizler on iki farklı Reynolds sayısında yapılmış ve hesaplama için gerekli olan tüm veriler, analizi yapılan boru üzerindeki yirmi dört kesitten ANSYS Fluent v18 ticari yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 2 verilerin alındığı aksel yöndeki bu kesitlerin konumları göstermektedir. En son olarak, sayısal veri analizi bölümündeki yöntem ve formüller kullanılarak Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısı değerleri hesaplanmıştır.



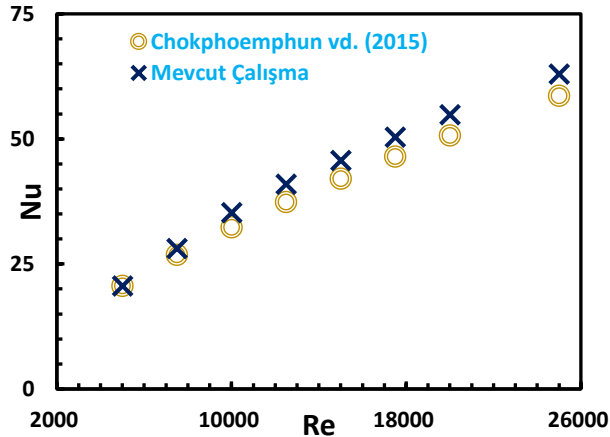
Şekil 2. Ters kavisli kesite sahip bükümlü bant üzerindeki verilerin alındığı kesitler

Sayısal Hesaplamanın Doğrulanması

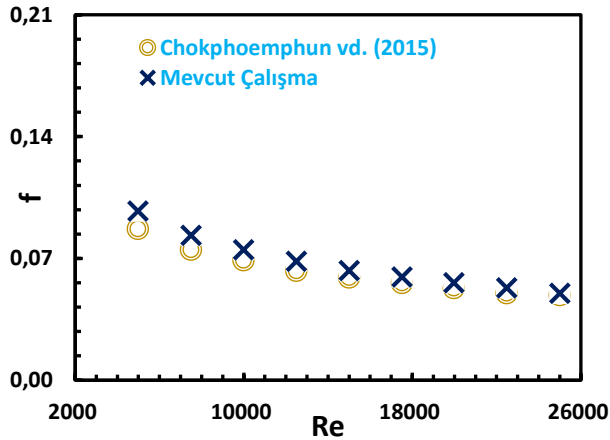
Chokphoemphun vd. (2015)'nin tipik bükümlü bant için literatürde sunduğu deneysel sonuçlar bu çalışmanın doğrulanması için kullanılmıştır. Analizde, en az üç şişkin tabakalı farklı ağ boyutları kullanılarak ağ bağımsızlığı araştırılmıştır (3243239, 4193895, 5505248 ve 6297857 elemanlı). Eleman sayısının 3243239'dan 4193895 artırdığımızda, Nu %0.3, f ise %1.9 değişim göstermiştir. Sonuçlar, hücre

sayısının 3243239'den artmasıyla belirgin şekilde değişmemektedir. Sonuç olarak, bu ağ mevcut araştırmada simülasyon yapmak için seçilmiştir.

Simülasyon çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar ile Chokphoemphun vd. (2015)'in deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4 Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısına karşı sayısal ve deneysel sonuçlarını göstermektedir. Deneysel ve sayısal veriler arasında, Nusselt sayısı için maksimum %7 ve sürtünme faktörü için maksimum %12 sapma görülmüştür. Sayısal sonuçlar söz konusu deneysel çalışmanın sonuçları ile iyi bir uyum içerisindedir. Bu nedenle, mevcut araştırmada ısı transfer davranışını simüle etmek için bahsi geçen bu yöntem kullanılmıştır.



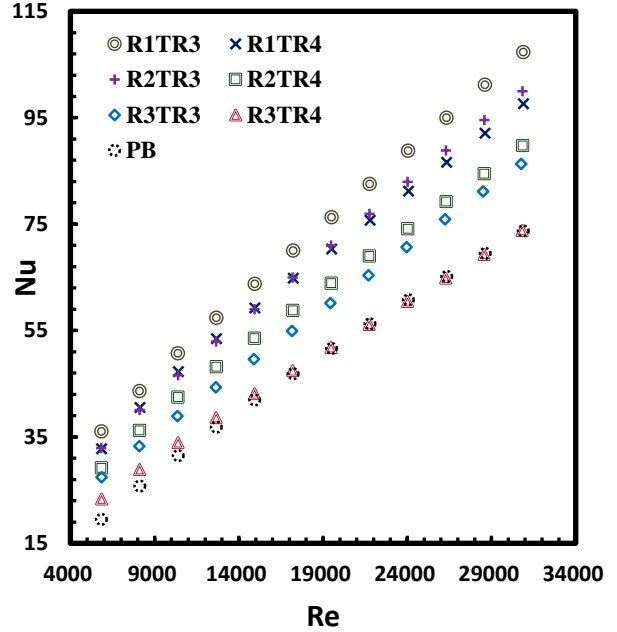
Şekil 3. Nu sayısının deneysel ve sayısal verilerinin karşılaştırılması



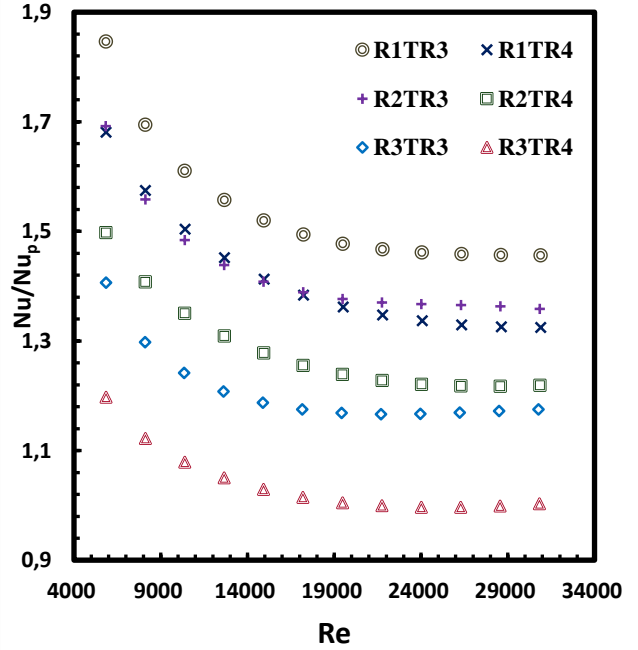
Şekil 4. Sürtünme faktörünün deneysel ve sayısal verilerinin karşılaştırılması

Isı Transferi Değerlendirmesi

Ters kavisli kesite sahip bükümlü bandın dairesel bir tüpteki ısı transfer oranı üzerindeki etkileri Şekil 5 ve 6 da sunulmuştur. Nusselt sayısı tüm durumlar için artan Reynolds sayısıyla artmış ve 23.29 ile 107.29 arasında bir değer almıştır.



Şekil 5. Ters kavisli bükümlü bantlar için Reynolds sayısına göre Nusselt sayısının değişimi

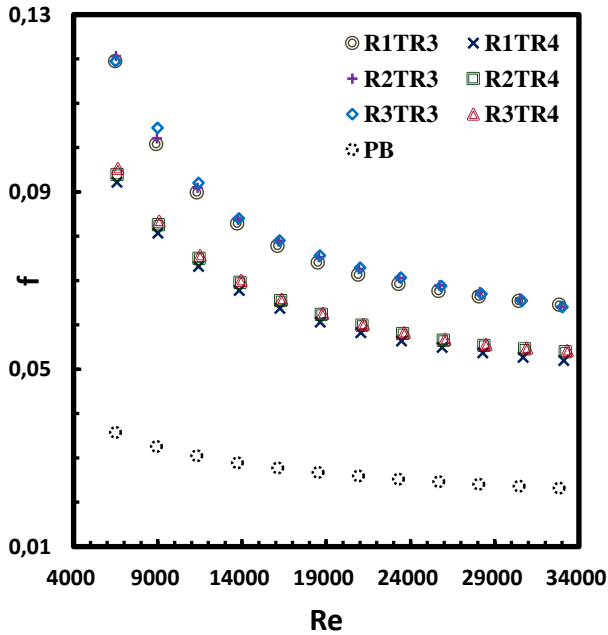


Şekil 6. Ters kavisli bükümlü bantlar için Reynolds sayısına göre Nu/Nu_p oranının değişimi

R3TR4 haricindeki ters kavisli bükülmüş bantların tüm Reynolds sayıları için pürüzsüz boruya göre ısı transfer değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Ters kavisli bükülmüş şeritlerin Nusselt sayısının pürüzsüz boruya kıyasla %85'e kadar arttığı görülmüştür. Bu, bantların geometrisinin borudaki akım çizgilerinin yönünü değiştirdiği ve akımı rahatsız ettiği etkinin büyüklüğünü göstermektedir. En yüksek Nusselt sayısı, en düşük büküm oranı ve en yüksek ters kavis çapı oranına sahip R1TR3 için hesaplanmıştır.

Sürtünme Kaybı Değerlendirmesi

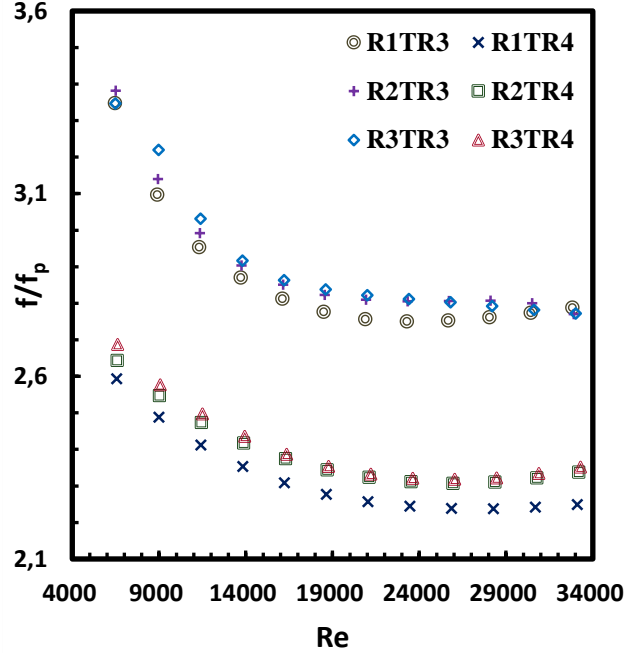
Ters kavisli kesite sahip bükülmüş bantın sürtünme faktörü Şekil 7'de sunulmuştur. Sürtünme faktörü, tüm durumlar için Reynolds sayısının artışı ile azalmıştır. Beklendiği gibi, ters kavisli bükülmüş bant, düz borudan daha yüksek bir sürtünme faktörü vermiştir.



Şekil 7. Ters kavisli bükümlü bantlar için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 8'de görüldüğü gibi, f/f_p (ters kavisli bükümlü bantlı borulardaki sürtünme faktörünün pürüzsüz borunun sürtünme faktörüne oranı) oranı 3 büküm oranına sahip bantlar için 2.75 ila 3.38 ve 4 büküm oranına sahip bantlar için 2.24 - 2.69 aralığında bulunmuştur. Bu, daha düşük

büküm oranının daha fazla sürtünme sağladığı anlamına gelir. Büküm oranı 3 olan bantlarda sürtünme daha fazla oluşmaktadır, bunun sebebi artan bant yüzeyi ile oluşan basınç düşümüdür. Ters bükümlü bantlarda büküm oranı sürtünme faktörü üzerine oldukça etken olmasına rağmen, ters kavis çap oranının etkisi oldukça düşük görülmektedir.

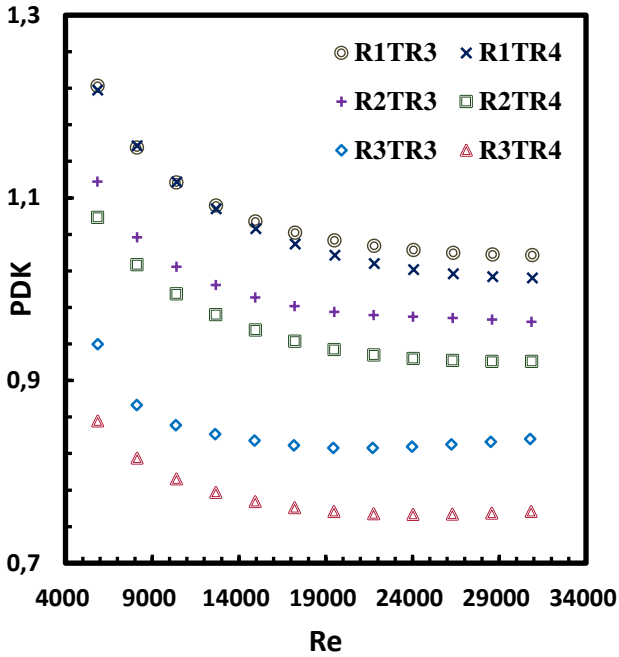


Şekil 8. Ters kavisli bükümlü bantlar için Reynolds sayısına göre f/f_p oranının değişimi

Performans Değerlendirmesi

Şekil 9, ters kavisli bükümlü bantlar için hesaplanan performans değerlendirme kriteri değerlerinin Reynolds sayısına göre değişimini göstermektedir. Performans değerlendirme kriteri kavis çap oranının artmasıyla artma eğilimindedir. Sayısal sonuçlar 3 veya 4 büküm oranlı üç farklı kavis çapı için termal performans faktörünün 0.75 ile 1.22 arasında değiştiğini göstermektedir. R1TR3 ve R1TR4'ün PDK'leri diğer ters kavisli kesite sahip bükülmüş bantlara göre daha yüksektir. PDK'nin maksimum değeri R1TR3 için 5849 Reynolds sayısında 1.22 olarak elde edilmiştir. Çalışma şartlarında, 0.872 ters kavis çap oranına sahip olan bantların PDK değerlerinin 1'den büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ters kavis çap oranı 0.647 olan bantlar için, düşük Reynolds sayılarında 1'den büyük ve yüksek Reynolds sayılarında 1'den daha düşük değerler bulunmuştur. Bu değer, en

düşük ters kavis çap oranı 0.554'e sahip bantlar için 1'in altında hesaplanmıştır.



Şekil 9. Ters kavisli bükümlü bantlar için Reynolds sayısına göre performans değerlendirme kriterinin değişimi

Korelasyon Denklemleri

Reynolds sayısı, büküm oranı ve ters kavis çap oranı parametrelerinin kapsamlı etkisini değerlendirmek amacıyla, Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve PDK için bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak korelasyonlar geliştirilmiştir. Dikkate alınan geometrik parametrelerden, büküm oranı 3 ve 4 olarak kabul edilirken, ters kavis çap oranı 0.554 ve 0.872 aralığındadır. Dikkate alınan akış parametresi olan Reynolds sayısı ise 5800 ile 31000 arasındadır. Nu, f ve PDK için geliştirilen bu korelasyonlar aşağıdaki denklemlerle verilmiştir.

$$Nu = 0.1017 * Re^{0.6884} * Pr^{0.4} * TR^{0.0003392} * \frac{D_K}{D}^{0.5089} \quad (18)$$

$$f = 2.921 * Re^{-0.3819} * TR^{-0.0001757} * \frac{D_K}{D}^{-0.05845} \quad (19)$$

$$PDK = 2.829 * Re^{-0.09043} * TR^{0.00009692} * \frac{D_K}{D}^{0.5546} \quad (20)$$

Yapılan regresyon analizi sonucunda R kare değerleri Nu için 0.9498, f için 0.7738 ve PDK için 0.8379 olarak tespit edilmiştir.

Semboller ve Kısaltmalar

C_p	: Akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısı ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
D	: Boru çapı (m)
D_K	: Kavis çapı (m)
E	: Birim kütle başına enerji ($N.m/kg$)
f	: Sürtünme faktörü
h	: Isı transfer katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
I	: Türbülans yoğunluğu
k	: Akışkanın ısı iletim katsayısı ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
k_e	: Etkin ısı iletim katsayısı ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
ℓ	: bükülme uzunluğu mesafesi (m)
L	: Boru uzunluğu (m)
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Basınç (Pa)
PB	: Pürüzsüz boru
PDK	: Performans değerlendirme kriteri
Pr	: Prandtl sayısı
\dot{q}	: Isı akısı (W/m^2)
Re	: Reynolds sayısı
$T_{çıkış}$: Çıkış sıcaklığı (K)
T_{duvar}	: Duvar sıcaklığı (K)
$T_{giriş}$: Giriş sıcaklığı (K)
T_{oa}	: Ortalama akışkan sıcaklığı (K)
TR	: Büküm Oranı
u	: Hız (m/s)
x	: Yön

Yunanca Semboller

ΔP	: Basınç düşüşü (Pa)
δ_{ij}	: Kronecker simgesi
μ	: Dinamik viskozite ($kg/(m.s)$)
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)

Teşekkür

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.YLT.17.12 numaralı bir araştırma proje kapsamında mali olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

Cengel, Y.A., Ghajar, A., (2015). Heat and mass transfer: Fundamentals & Applications, 5th ed. McGraw-Hill Education.

- Chokphoemphun, S., Pimsarn, M., Thianpong, C., Promvonge, P., (2015). Thermal performance of tubular heat exchanger with multiple twisted-tape inserts. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 23, 755-762.
- Dewan, A., Mahanta, P., Raju, K.S., Kumar, P.S., (2004). Review of passive heat transfer augmentation techniques. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 218, 509-527.
- Eiamsa-Ard, S., Nivesrangsarn, P., Chokphoemphun, S., Promvonge, P., (2010a). Influence of combined non-uniform wire coil and twisted tape inserts on thermal performance characteristics. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37, 850-856.
- Eiamsa-Ard, S., Promvonge, P., (2010). Thermal characteristics in round tube fitted with serrated twisted tape. *Applied Thermal Engineering* 30, 1673-1682.
- Eiamsa-Ard, S., Seemawute, P., (2012). Decaying swirl flow in round tubes with short-length twisted tapes. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39, 649-656.
- Eiamsa-Ard, S., Thianpong, C., Eiamsa-Ard, P., Promvonge, P., (2009a). Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert. *International communications in heat and mass transfer* 36, 365-371.
- Eiamsa-Ard, S., Wongcharee, K., Eiamsa-Ard, P., Thianpong, C., (2010b). Thermohydraulic investigation of turbulent flow through a round tube equipped with twisted tapes consisting of centre wings and alternate-axes. *Experimental Thermal and Fluid Science* 34, 1151-1161.
- Eiamsa-Ard, S., Wongcharee, K., Sripattanapipat, S., (2009b). 3-D Numerical simulation of swirling flow and convective heat transfer in a circular tube induced by means of loose-fit twisted tapes. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36, 947-955.
- Garg, M., Nautiyal, H., Khurana, S., Shukla, M., (2016). Heat transfer augmentation using twisted tape inserts: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 63, 193-225.
- Gnielinski, V., (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *Int. Chem. Eng.* 16, 359-368.
- Guo, J., Fan, A., Zhang, X., Liu, W., (2011). A numerical study on heat transfer and friction factor characteristics of laminar flow in a circular tube fitted with center-cleared twisted tape. *International Journal of Thermal Sciences* 50, 1263-1270.
- Hasanpour, A., Farhadi, M., Sedighi, K., (2014). A review study on twisted tape inserts on turbulent flow heat exchangers: The overall enhancement ratio criteria. *International communications in heat and mass transfer* 55, 53-62.
- Kumar, A., Prasad, B., (2000). Investigation of twisted tape inserted solar water heaters—heat transfer, friction factor and thermal performance results. *Renewable energy* 19, 379-398.
- Liu, S., Sakr, M., (2013). A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers. *Renewable and sustainable energy reviews* 19, 64-81.
- Murugesan, P., Mayilsamy, K., Suresh, S., (2010). Heat transfer and friction factor studies in a circular tube fitted with twisted tape consisting of wire-nails. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 18, 1038-1042.
- Noothong, W., Eiamsa-Ard, S., Promvonge, P., (2006). Effect of twisted-tape inserts on heat transfer in a tube, *The 2nd joint international conference on “sustainable energy and environment (see 2006), pp. 21-23.*
- Petukhov, B., (1970). Heat transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties, *Advances in heat transfer.* Elsevier, pp. 503-564.
- Piriyarungrod, N., Eiamsa-Ard, S., Thianpong, C., Pimsarn, M., Nanan, K., (2015). Heat transfer enhancement by tapered twisted tape inserts. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 96, 62-71.
- Promvonge, P., (2008). Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators. *Energy Conversion and Management* 49, 2949-2955.

- Rahimi, M., Shabaniyan, S.R., Alsairafi, A.A., (2009). Experimental and CFD studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube equipped with modified twisted tape inserts. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 48, 762-770.
- Saysroy, A., Eiamsa-ard, S., (2017). Periodically fully-developed heat and fluid flow behaviors in a turbulent tube flow with square-cut twisted tape inserts. *Applied Thermal Engineering* 112, 895-910.
- Sheikholeslami, M., Gorji-Bandpy, M., Ganji, D.D., (2015). Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49, 444-469.
- Sivashanmugam, P., Suresh, S., (2006). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of laminar flow through a circular tube fitted with helical screw-tape inserts. *Applied Thermal Engineering* 26, 1990-1997.
- Thianpong, C., Eiamsa-Ard, P., Wongcharee, K., Eiamsa-Ard, S., (2009). Compound heat transfer enhancement of a dimpled tube with a twisted tape swirl generator. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36, 698-704.
- Webb, R., (1981). Performance evaluation criteria for use of enhanced heat transfer surfaces in heat exchanger design. *International Journal of Heat Mass Transfer* 24, 715-726.
- Wongcharee, K., Eiamsa-Ard, S., (2011). Heat transfer enhancement by twisted tapes with alternate-axes and triangular, rectangular and trapezoidal wings. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 50, 211-219.

Thermohydraulic performances of reverse curved cross sectional twisted tape

Extended abstract

Everyday life needs more and more energy sources due to increasing population, industrialization, and technological development. Therefore, the most important topics of our day are the efficient use of natural resources, and heat transfer enhancement, especially in industry. Passive technique is the popular heat transfer enhancement technique. Twisted tape inserts are one of the commonly used passive types of the continuous swirling flow devices that generate twin swirling flow motion over the whole tube length of flow for heat transfer augmentation. It provides advantages of easy installation and removal, low manufacture cost, feasibility of installation in an existing tube heat exchanger.

The commercial CFD program ANSYS Fluent v18 was used for numerical calculation of the governing equations solved with a pressure-based solver under steady condition. The standard $k-\varepsilon$ turbulence model with enhanced wall treatment was chosen for numerical simulation of pipes with tapes. Furthermore, the converged solutions were considered when the residuals resulting from the iterative process were lower than 10^{-3} for k and ε , 10^{-6} for momentum, continuity, and 10^{-8} for energy. A second order scheme was selected to solve the momentum and energy, a first order scheme was selected for kinetic energy and turbulent dissipation rate.

The analyses included three different reverse curve to tube diameter ratios (0.872, 0.647 and 0.554) and two different twist ratios (3.0 and 4.0). Test runs were conducted using air as analysis fluid with Reynolds number range from 5800 to 30000. Uniform heat flux was applied on the external tube wall.

The effects of the reverse curved cross sectional twisted tapes in a round tube on heat transfer,

pressure drop, and performance evaluation criteria (PEC) were numerically investigated. Results show that heat transfer performance is greatly depended on geometry of inserts. Exactly like the other twisted tapes types, the Nusselt number increase with increasing Reynolds number. The highest Nusselt number was calculated the lowest twist ratio and the highest curve ratio for the R1TR3 case. The high Nusselt number refer to the high heat transfer. The Nusselt number of reverse twisted tapes are higher than smooth pipe approximately 0 to 85 %.

Friction factor decreased with increasing Reynolds number. Maximum friction factor was calculated at the lowest Reynolds number. It has been observed that curve ratio is the less effective than twist ratio on friction factor. The friction factor of reverse curved cross sectional twisted tapes are higher than smooth pipe in the region of 124 to 238 %.

The PEC of reverse curved twisted tape is found 0.75 to 1.23 in the range of analysis Reynolds number. The PEC values of the cases having 0.872 curve ratio were determined to be over 1 for the study. At low Reynolds number, it is greater than 1, and at high Reynolds number, it is less than 1 for the cases having median curve ratio of 0.647. For the lowest curve ratio of 0.554, it was calculated less than 1. The best PEC was estimated as 1.23 at Reynolds number of 5849 for the maximum curve and minimum twist ratio. The statistical correlations for Nusselt number, friction factor, and PEC of the tube equipped with the reverse curve twisted tape were developed.

Keywords: Reverse curved twisted tape, heat transfer enhancement, thermal efficiency, numerical analysis



Birleşik bir turbülatörün ısı transferi analizi

Taha Tuna GÖKSU

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman
tgoksu@adiyaman.edu.tr ORCID: 0000-0002-2334-1698

Müslüme KÖŞKER

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
mkosker@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0002-1005-5289

Fuat YILMAZ*

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
fuatyilmaz@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0001-8910-7231, Tel: (342) 317 25 73

Geliş: 29.11.2018, Revizyon: 24.12.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Bu çalışmanın temel amacı ANSYS Fluent v17 kullanılarak bir dairesel boru içerisinde eşkenar üçgen kesitli sarmal tel ve bükülmüş banttardan oluşan birleştirilmiş bir tasarımın termohidrolik davranışını incelemektir. Sayısal çalışma, 4650 ve 21780 arasındaki Reynolds sayısı aralığında akışkan olarak su kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışılan Reynolds sayı aralığında Nusselt sayısı birleşik tasarım için %110 ila %128 aralığında pürüzsüz borudan daha yüksektir. Birleşik tasarımın sürtünmesi pürüzsüz borudan yaklaşık %525 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Birleşik tasarımın ısı transfer performansı aralığı 1.13-1.23 arasında bulunmuştur. Maksimum ısı transferi performansı en düşük Reynolds sayısında gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bükülmüş bant; sarmal tel; ANSYS; ısı transfer performansı; sayısal analiz

* Yazışmaları yapılacağı yazar

Giriş

Isı değiştiriciler, bir sistemi soğutmak veya ısıtmak için birçok alanda kullanılmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılda, ısı değiştirici sistemlerde ısı transferini arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Pasif ısı transferi tekniği, ısı geliştirme tekniklerinin popüler örneklerinden biridir. Pasif tekniklerde, kanal içine geçmeli elemanlar genellikle ısı transferini arttırmak için kullanılır. Sarmal tel ve bükülmüş bant bu amaç için kullanılan popüler türlerdendir. Pasif tip olduklarından dolayı ise harici bir güce ihtiyaç duymazlar.

Yakın zamandaki çalışmalar, sarmal tel kullanımının ısı transfer geliştirme üzerinde bir avantaj sağladığını göstermiştir. Literatürde, üç farklı sarmal tel hatvesinin boru çapına oranına ($p/D=1, 2$ ve 3) ve iki farklı üçgen tel kenarının çapa oranına ($a/D=0.0714$ ve 0.0892) sahip eşkenar üçgen kesite sahip sarmal telin ısı transferi üzerine etkisi, 3500 ve 27000 Reynolds sayısı (Re) aralığında Gunes vd. (2010a) tarafından incelenmiştir. Sonuçlar, yüksek a/D ve düşük p/D oranlarına sahip sarmalın en iyi performans katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Bir başka çalışmalarında, Gunes vd. (2010b) sarmal telin duvardan uzaklaşmasının termo-hidrolik davranış üzerine etkisini, iki farklı uzaklık değeri için, 4105 ve 26400 Reynolds sayısı aralığında incelemişlerdir. En iyi performans değeri en düşük p/D oranı ve en düşük uzaklık değeri için elde edilmiştir. Promvonge (2008b) iki farklı p/D oranına (0.315 ve 0.421) sahip kare ve dairesel kesitlere sahip sarmal tellerin ısı transferi üzerine etkilerini, 5000 ve 25000 Re sayısı aralığında incelemiştir. Kare kesite sahip olan sarmal tel en iyi performansı sergilemiştir. Kare kesitli sarmal telin performans değerlendirme kriteri (PDK) çalışma şartlarında 1.2 ila 1.3 arasında ve dairesel sarmal tele göre daha yüksek bulunmuştur. Shoji vd. (2003) boru içindeki sarmal telin uzunluğunun etkisini incelemişlerdir. Tam uzunluğa sahip sarmal tel, çalışmadaki diğer kısa ölçekli sarmal tellere göre daha fazla ısı transferi artışı göstermiştir. Eiamsa-Ard vd. (2012) kare kesite sahip bir kanal içinde arka arkaya

sıralanmış sarmal telin, 4000 ve 25000 Re aralığında ısı transferi davranışlarını incelemiştir. Sonuçlar, tam uzunlukta sarmal telin kısa uzunlukta bir alternatifine göre daha iyi bir ısı transferi geliştirmesine sahip olduğunu göstermiştir.

Wang ve Sunden (2002) laminer ve türbülanslı rejimlerde, bükümlü bantın ve sarmal telin ısı transferi performanslarının ve sürtünme faktörlerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, her iki ısı transfer elemanının tüm rejimlerde oldukça etkili olduğunu ve laminer bölgede bu etkinin daha da kuvvetlendiğini göstermiştir. Sürtünme faktörü düşünülmediğinde, bükümlü bant ısı transferi artışı açısından daha iyi bir performans sergilemesine rağmen, sürtünmenin de hesaba katılmasıyla sarmal tel daha iyi bir ısı transfer performans sunmuştur.

Bir boru içindeki dört farklı büküm oranına ($3, 4, 5$ ve 6) sahip bükülmüş bantın termo-hidrolik performansı, 3000 ile 23000 Re sayı aralığında Jaisankar vd. (2009) tarafından incelenmiş ve büküm oranının azalmasıyla girdap oluşumunun, ısı transferinin ve sürtünme faktörünü arttığını bulmuşlardır. Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010) saat yönüne ve saat yönünün tersine çevrilmiş bükümlü bantların dokuz farklı düzenlemesinin termo-hidrolik davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Büküm yönüne ek olarak büküm açısı ve büküm oranının etkisi de bu çalışmada araştırılmıştır. Bükülmüş bant düzenlemeleri, tipik olandan daha yüksek ısı transfer performansı göstermişlerdir. Düzenlemelerin termo-hidrolik performansı, azalan büküm oranı ve artan büküm açısı ile artmıştır. Düzenlemelerin Nusselt sayısı (Nu), tipik bükümlü bant ve düz borudan sırasıyla % $12.8-41.9$ ve % $27.3-90.5$ civarlarında daha yüksek elde edilmiştir.

Bükümlü bant ile sarmal telin kullanımı ilk kez Promvonge (2008a) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada, sarmal tel hatvesinin boru çapına oranı sabit olarak alınmış, 3000 ve 18000 Re sayısı aralığında ısı transferine etkileri incelenmiştir. Bireysel olarak kullanılan sarmal

tele ya da bükümlü banda göre daha iyi bir performans sunmuştur. Bileşik etki çalışan diğer bir çalışmada ise, Eiamsa-Ard vd. (2010) bir sarmal tel içindeki bükülmüş bandın ısı transferi artışı üzerindeki etkisini göstermiştir. Çalışmada, iki farklı bobin düzenlemesi için iki farklı büküm oranı ve azalan hatve oranı düzenlemesi (*D-bobin*) ve azalan/artan hatve oranı düzenlemesi (*DI-bobin*) için üç farklı oran kullanılmıştır. *DI bobinli* 3 büküm oranına sahip bükülmüş bant kombinasyonu, 4600 ve 20000 *Re* sayısı çalışma aralığındaki en düşük *Re* sayısında maksimum performans değerlendirme kriteri değerini göstermiştir (1.25).

Yukarıdaki çalışmada görüldüğü gibi, bir sarmal tel ve bükümlü bant birleşimi, tek sarmal telden ya da bükümlü banttan daha fazla performans göstermiştir. Bu sonuçların motivasyonunda, boru boyunca bükülmüş bant ile paralel sarmal telin (aynı hatve ve büküm oranlarına sahip) ısı performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmanın doğruluğunu göstermek için Gunes vd. (2010b)'nın deneysel sonuçları test edilmiştir.

Sayısal Yöntem

Sayısal Çözüm

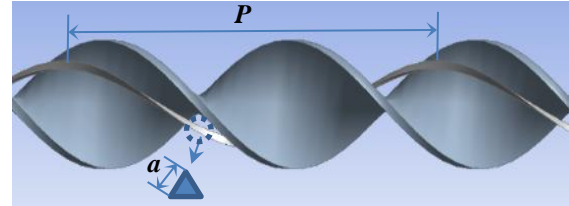
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücü olan ANSYS Fluent v17, sayısal denklemlerin çözümü için kullanılmıştır. SIMPLE algoritması basınç hız ilişkisinin ifadesi için seçilmiştir. Enerji için 10^{-6} ve momentum, süreklilik, k ve ϵ için 10^{-4} yakınsama kriteri kullanılmıştır. Sayısal modelleme, kütle, momentum ve enerji için korunum denklemlerinin sayısal çözümlerini içermektedir.

Geometri

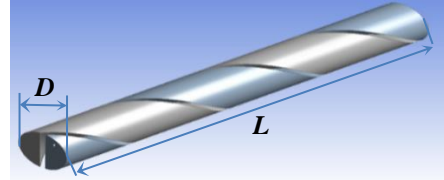
Şekil 1 ve 2 bükümlü bant ile sarmal telin (*TTwWC*) ve bu bileşik elemanla donatılmış borunun geometrisini göstermektedir. Borunun uzunluğu 600 mm'dir. Sarmal telin kalınlığı ve duvardan uzaklığı 2 mm'dir. Çalışmanın hatve ve büküm oranı 90 mm'dir. Borunun çapı 22.6 mm'dir.

Akışkan Alanının Ağ Yapısı

Sonuçların, ağ eleman sayısından bağımsızlığını elde etmek için, üç farklı ağ oluşturulmuştur. Bu ağların eleman sayıları Tablo 1'de verilmiştir. İlgilenilen sonuçlar olan Nusselt sayısı ve sürtünme faktörüne bakıldığında, 7879779 ve 9109971 eleman sayılı ağların sonuçlarındaki sapma miktarı % 1'den daha düşük olarak bulunmuştur. Bu nedenle, sayısal analizi için 7879779 eleman sayılı ağ seçilmiştir.



Şekil 1. Bükümlü bant ile sarmal tel geometrisi



Şekil 2. Sarmal tel ve bükümlü bant içeren akışkan alanı

Tablo 1. Ağ eleman bağımsızlığı çalışması sonuçları

Ağ Eleman Sayısı	Re	Nu	f
5298110	20818	223,33	0,166
7879779	20818	223,38	0,168
9109971	20828	221,41	0,168

Sınır Şartları

Akış yönü boru girişine dik olarak tanımlanmıştır ve akışkan giriş sıcaklığı 308 K olarak kabul edilmiştir. Türbülans yoğunluğu aralıkları, girişte 4 ile 5% arasında ve Reynolds sayısına bağlıdır. Boru duvarı pürüzsüz kabul edilmiş ve 293 K sabit duvar sıcaklığına maruz bırakılmıştır.

Gerekli Parametrelerin Hesaplama Prosedürleri

Tüm hesaplamalar aşağıdaki denklemlere dayanmaktadır.

Taşınım ile aktarılan ısı, iletim ile aktarılan ısıya oranını ifade eden Nu sayısını hesaplamak için Dittus-Boelter denklemi kullanılmıştır.

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad (1)$$

Atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetine oranı olan Reynolds sayısı aşağıdaki denklemle hidrolik çap kullanılarak elde edilmiştir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{ortalama} \cdot D_{hidrolik}}{\mu} \quad (2)$$

Sürtünme faktörü

$$f = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D}{\rho \cdot U_{ortalama}^2 \cdot L} \quad (3)$$

Isı transfer katsayısı

$$h = \frac{m \cdot c_p (T_o - T_i)}{A (T_w - T_b)} \quad (4)$$

Nusselt sayısı

$$Nu = \frac{h \cdot D_{hidrolik}}{k} \quad (5)$$

Düz boru için Blasius denklemi

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (6)$$

Performans değerlendirme kriteri (PDK)

$$PDK = \frac{Nu_a}{Nu_o} \left(\frac{f_a}{f_o} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Sonuçlar ve Tartışma

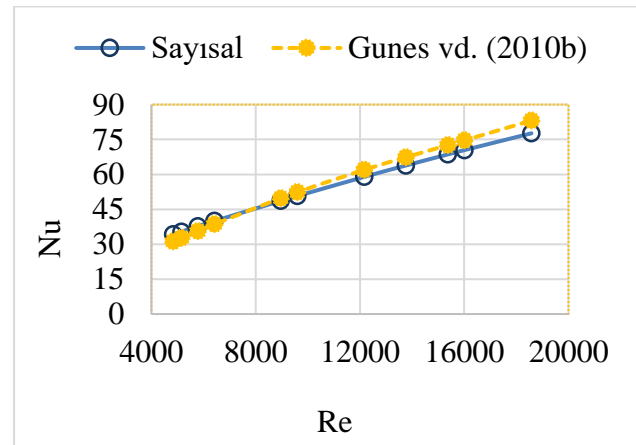
Analiz Yönteminin Doğrulanması

Gunes vd. (2010b)'nin deneysel sonuçları doğrulama için kullanılmıştır. Şekil 3, tel hatvesinin boru çapına oranı 3 olan geometri için, Nu sayısının farklı Re sayılarındaki sayısal ve deneysel sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4 ise Reynolds sayısına karşı sürtünme faktörünün sayısal ve deney sonuçlarını sunmaktadır. Doğrulama sonuçları, deneysel ve sayısal Nu sayısının sapma bandını % 2.43 ile % 9.56 arasında olduğunu, sürtünme faktörü için ise, sapma bandının %5 ile %15 arasında olduğunu göstermiştir. Gunes vd. (2010b) tüp duvarından ayrılan sarmal telin sabitlenmesi için yoğun olarak bağlanmış Teflon halkaları kullanmışlardır. Çalışmada teflon halka, viskozite ısı, termal radyasyon ve doğal

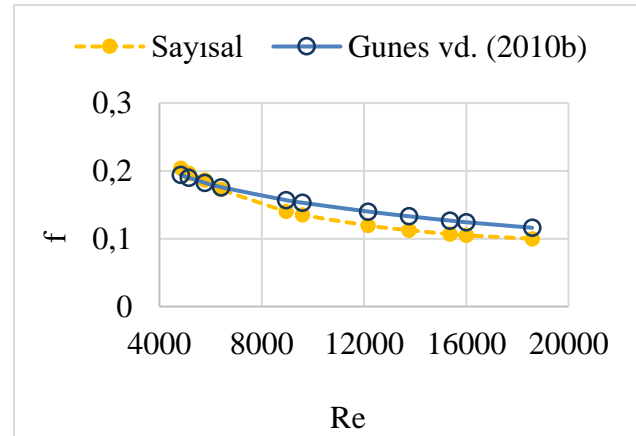
konveksiyon, yer çekimi ve tüpün kalınlığının etkileri ihmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Birleşik Sarmal Tel ve Bükülmüş Bandın Etkisi

Bu çalışmada, Nusselt sayısı ve sürtünme ilk olarak deneysel sonuçları ile doğrulanmıştır. Düz tüpün Nu ve f sonuçları Dittus-Boelter ve Blasius denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Bükülmüş bant ve sarmal telli bükülmüş bandın Nu , f ve ısı transfer performans değerleri, 4650 ve 21780 Reynolds sayısı aralığında sayısal olarak elde edilmiştir.



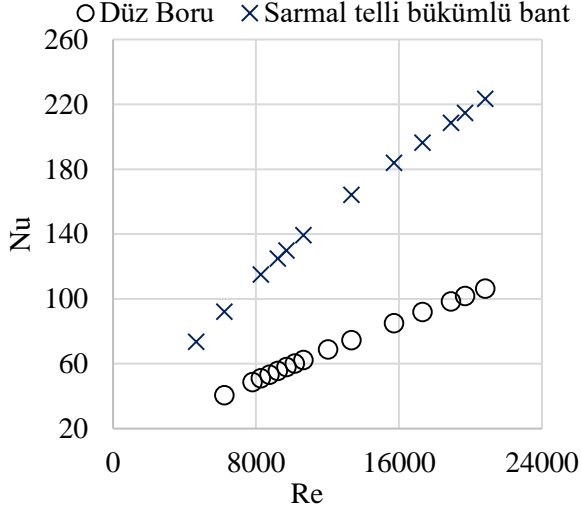
Şekil 3. Sayısal ve deneysel (Gunes vd., 2010b) Nu sonuçlarının karşılaştırılması



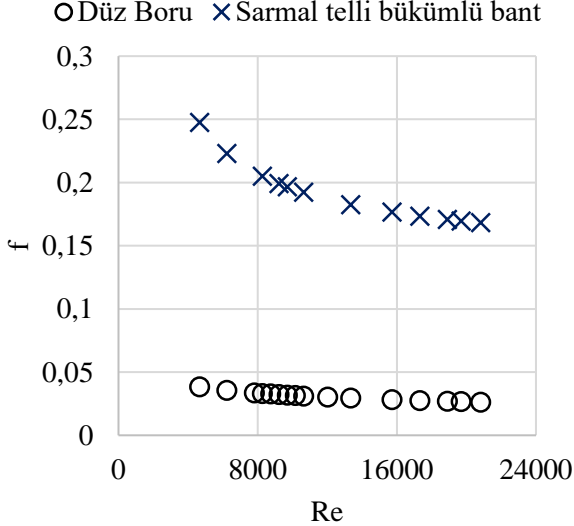
Şekil 4. Sayısal ve deneysel (Gunes vd., 2010b) sürtünme faktörü sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5 ısı transferinin ve Nusselt sayısının birleşik elemanla arttığını göstermiştir. Birleşik modelin Nu değeri %110 ila %128 arasında düz

borudan daha yüksek olarak elde edilmiştir. Modelin negatif etkisi, Şekil 6'da sunulduğu üzere basınç düşüşü üzerinde gözlemlenmiştir. Sürtünme faktörü yaklaşık 525% düz borudan daha yüksek bulunmuştur. Sürtünme faktörü Reynolds sayısının artmasıyla azalmıştır.



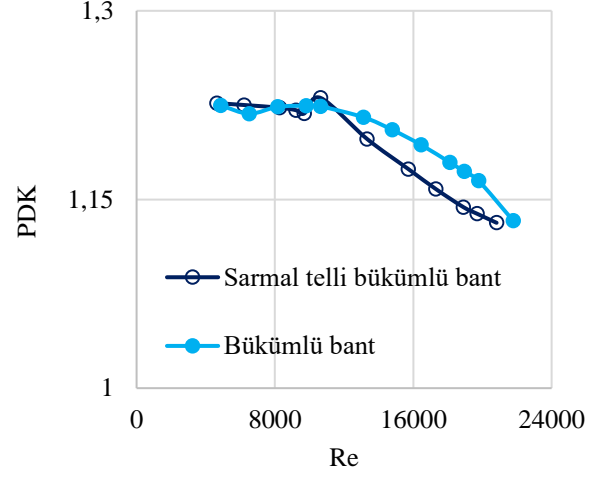
Şekil 5. Nu sayısının Re sayısına bağımlılığı



Şekil 6. Sürtünme faktörünün Re sayısına bağımlılığı

Şekil 7 çalışmanın PDK sonuçlarını göstermektedir. Anlaşıldığı üzere, sarmal telli bükümlü bantın PDK değerleri genellikle 4650 10683 Re sayısı aralığında tipik bükümlü banttan daha yüksektir. Sarmal telli bükümlü bantın

maksimum PDK değeri 1.23 olarak bu Re aralığında elde edilmiştir. Bunun yanında, PDK değerleri genellikle çalışma aralığında birden büyük olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. PDK değerinin Re sayısına bağımlılığı

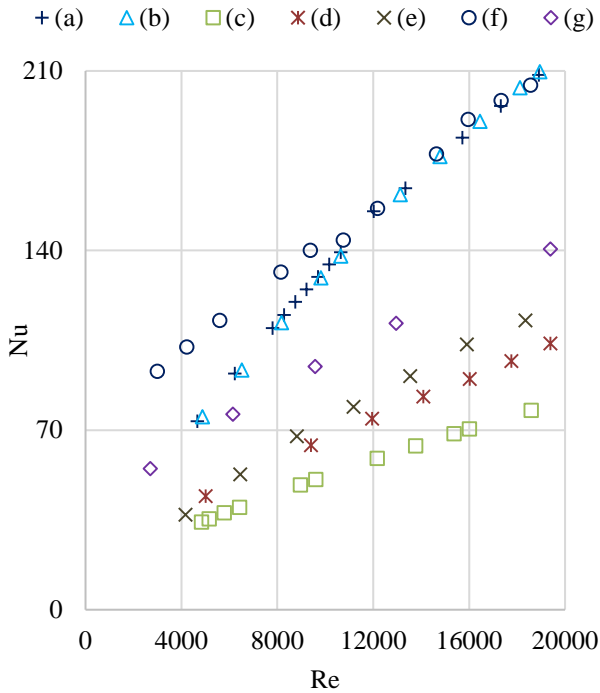
Tablo 2, literatürdeki bazı çalışmaların PDK aralıklarını göstermektedir. Tablodan anlaşıldığı üzere PDK değerleri, farklı Re , hatve oranı ve duvar sınır şartlarında 0.8'den 1.5'a kadar değişmektedir. Bu çalışmanın PDK değeri 1.13 ile 1.23 arasında elde edilmiştir.

Tablo 2. Literatürdeki bazı çalışmaların PDK aralığı

Literatür	PDK
Gunes vd. (2010a)	0.98-1.4
Gunes vd. (2010b)	1-1.5
Promvonge (2008b)	1-1.3
Eiamsa-Ard vd. (2012)	0.85-1.33
Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010)	0.8-1.4
Eiamsa-Ard vd. (2010)	0.9-1.25

Verilen literatürde maksimum PDK değeri 1.5 olarak elde edilmiştir. Bu da geçişimli elemanların ısı transfer performanslarının düz borudan yaklaşık %50 daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 8, Nu sayısının literatürde mevcut çalışmalarla karşılaştırılması göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen Nu sayısı, Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010) çalışması haricinde literatürden daha yüksek görünmektedir. Ancak, yüksek Re bölgesi için

sayısal Nu değerleri bu çalışmanın değerlerine yaklaşımaktadır.



Şekil 8. Sunulan çalışmanın literatürle kıyaslanması ((c) Gunes vd. (2010a), (d) Promvonge (2008b), (e) Eiamsa-Ard vd. (2012), (f) Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010), ve (g) Eiamsa-Ard vd. (2010))

Semboller ve Kısaltmalar

a	: Üçgen sarmal tel kenar uzunluğu (m)
A	: Isı transfer alanı (m^2)
C_p	: Akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısı ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
D	: Boru çapı (m)
$D_{hidrolik}$: hidrolik çap (m)
D-bobin	: Azalan hatve oranı düzenlemesi
DI-bobin	: Azalan/artan hatve oranı düzenlemesi
f	: Sürtünme faktörü
h	: Isı transfer katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
k	: Akışkanın ısı iletim katsayısı ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
L	: Boru uzunluğu (m)
m	: kütleli debi (kg/s)
Nu	: Nusselt sayısı
p	: Sarmal tel hatvesi uzunluğu (m)
PDK	: Performans değerlendirme kriteri
Pr	: Prandtl sayısı
Re	: Reynolds sayısı

T_b	: Ortalama sıcaklık (K)
T_i	: Giriş sıcaklığı (K)
T_o	: Çıkış sıcaklığı (K)
T_w	: Duvar sıcaklığı (K)
U	: Hız (m/s)

Yunanca Semboller

ΔP	: Basınç düşüşü (Pa)
μ	: Dinamik viskozite ($kg/(m.s)$)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)

Teşekkür

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.YLT.17.12 numaralı araştırma proje kapsamında mali olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Eiamsa-Ard, S., Koolnapadol, N., Promvonge, P., (2012). Heat transfer behavior in a square duct with tandem wire coil element insert. Chinese Journal of Chemical Engineering 20, 863-869.
- Eiamsa-Ard, S., Nivesrangsan, P., Chokphoemphun, S., Promvonge, P., (2010). Influence of combined non-uniform wire coil and twisted tape inserts on thermal performance characteristics. International Communications in Heat and Mass Transfer 37, 850-856.
- Eiamsa-Ard, S., Promvonge, P., (2010). Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts. International Journal of Heat Mass Transfer 53, 1364-1372.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., Buyukalaca, O., (2010a). The experimental investigation of heat transfer and pressure drop in a tube with coiled wire inserts placed separately from the tube wall. Applied Thermal Engineering 30, 1719-1725.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., Buyukalaca, O., (2010b). Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts. Experimental Thermal Fluid Science 34, 684-691.

- Jaisankar, S., Radhakrishnan, T., Sheeba, K., (2009). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of forced circulation solar water heater system fitted with helical twisted tapes. *Solar Energy* 83, 1943-1952.
- Promvonge, P., (2008a). Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators. *Energy Conversion and Management* 49, 2949-2955.
- Promvonge, P., (2008b). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires. *Energy Conversion Management* 49, 980-987.
- Shoji, Y., Sato, K., Oliver, D., (2003). Heat transfer enhancement in round tube using wire coil: influence of length and segmentation. *Heat Transfer Asian Research* 32, 99-107.
- Wang, L., Sunden, B., (2002). Performance comparison of some tube inserts. *International Communications in Heat Mass Transfer* 29, 45-56.

Heat transfer analysis of a combined turbulator

Extended abstract

The main aim of the present study is to examine the thermohydraulic characteristic of a combined design of twisted tape with equilateral triangular cross sectional wire coil (TTwWC) insert in a pipe. Numerical study is carried out in the range of Reynolds number between 4650 and 21780 using water as a working fluid.

Heat exchanger is used in many fields such as chemical process and petrochemical to cool or heat a system. In the past century, many studies have been done to enhance heat transfer in heat exchanger systems. Passive heat transfer technique is one of the popular examples of heat enhancement techniques. In passive techniques, inserts are generally used to enhance heat transfer. The wire coils and twisted tapes are popular insert types for this purpose. These types of inserts are additional equipment to the smooth pipe, and they don't need any external power to a system.

The commercial CFD solver ANSYS Fluent v17 was used in numerical analysis to solve the governing equations with a pressure-based solver. Semi-implicit pressure linked equation method (SIMPLE) algorithm for pressure velocity coupling and RNG $k-\epsilon$ for turbulence model were used. The convergence criterion of 10^{-6} for energy and of 10^{-4} for momentum, continuity, k , and ϵ were used. The numerical modeling involved numerical solutions of the conservation equations for mass, momentum, and energy.

The length of analysis tube is 600 mm. The thickness of wire coil and separated distance of wire coil from the wall are 2 mm. The pitch and twist ratio of the study are 90 mm. The diameter of pipe is 22.6 mm. The direction of the flow is defined to be normal to the boundary, and the fluid inlet temperature is accepted as 308 K. The turbulence intensity ranges depend on Reynolds number is between 4 and 5% at the inlet. The wall of the pipe is assumed to be perfectly smooth with zero roughness, and the uniform wall temperature of the pipe wall is 293 K.

Three different meshes were applied on the geometry for mesh independency study. The numbers of mesh elements were 5298110, 7879779, and 9109971. Nu

and f deviation between 7879779 and 9109971 mesh elements numbers were lower than 1%. Therefore, 7879779 mesh elements were selected for numerical analysis of TTwWC.

The experimental study of Gunes et al. (2010b) for $p/D=3$ was used for validation. Validation results show that Nu difference band with experimental was between 2.43% and 9.56%, f difference band with experimental was between 5 and 15%. In order to simplify the numerical model, some assumptions were adopted. Gunes et al. (2010b) were used densely attached Teflon rings in order to fix the coiled wire separated from the tube wall. In the study, the effects of Teflon ring, the viscosity heating, thermal radiation and natural convection, gravity, and thickness of the tube were considered negligible.

Results showed that the convective heat transfer and the Nusselt number were increased with inserts. Nu numbers of TT and TTwWC were greater than smooth pipe 106 to 124% and 110 to 128%, respectively. Nu appears to be higher than that noted in the literature, except the result of Eiamsa-Ard and Promvonge (2010).

The negative effect of inserts was obtained on the pressure drop. However, the friction numbers of TT and TTwWC were higher than the smooth pipe approximately 498 and 525%, respectively.

The most important point of the current study was observed on heat transfer performance. The performance evaluation criteria of the present study is between 1.13 and 1.23. The maximum heat transfer performance was obtained around 1.23 at low Reynolds number region. Heat transfer performance decreased with increasing Reynolds number. The reason of that comes from the increasing of friction. Results showed that heat transfer enhancement efficiency of TTwWC is generally higher than TT in the low Re. Laminar or transition region, different twist or pitch ratio can be chosen for the future studies.

Keywords: Twisted tape, wire coil, ANSYS, heat transfer performance, numerical analysis



Yağlama durumunun DC01 çelik sac malzemenin artışı şekillendirilmesine etkilerinin incelenmesi

Elif MALYER*

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa
elif.malyer@cbu.edu.tr ORCID: 0000-0001-9141-3842, Tel: (236) 312 48 88 (143)

Hikmet Sadi MÜFTÜOĞLU

Trom Trafo ve Radyatör San.ve Tic. A.Ş., Sakarya
hikmetsadimuftuoglu@gmail.com

Geliş: 29.11.2018, Revizyon: 18.03.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Çalışmada, DC01 çelik alaşımı sac malzemenin Artışlı Şekillendirme Yöntemi (AŞY) ile biçimlendirilmesinde yağlama elemanının performansını araştırmaya odaklanılmıştır. Bilindiği üzere AŞY’nde, işlemin ısı kaynağı sürtünmedir. Takım-sac malzeme temas alanı ile temas alanının sabit kaldığı durumlarda devir sayısı sürtünme ısısını kontrol etmektedir. Yağlama elemanlarının AŞY ile biçimlendirilen ürünün kalitesine etkisini açıklamak için çalışmada ayrıca bahsi geçen iki parametrenin de ürün kalitesine etkileri incelenmiştir. Çalışmada, dört farklı duvar açısına sahip kesik koni formu AŞY ile işlenmiş ve devir sayısı, takım çapı ve yağlama elemanı deney değişkeni olarak belirlenmiştir. % incelleme miktarı ve geometrik tamlik performans ölçütü olarak belirlenmiştir. Üretilen parçaların CAD verilerinin elde edilebilmesi için 3D lazer tarama yöntemi kullanılmış ve veriler üzerinde ürünlerin duvar açıları ve kalınlıkları ölçülmüştür. Hedef geometrinin duvar açısı ile ürünün duvar açısı arasındaki fark geometrik tamlik, sac malzemenin ilk ve son kalınlıkları arasındaki fark ise % incelleme miktarı olarak tanımlanmıştır. Deneyler sonuçları, işlem sıcaklığının düşük olduğu şartlarda yağlama özelliği daha iyi olan yağlama elemanının hem % incelleme hem de geometrik tamlik bakımından daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Artışlı şekillendirme, yağlayıcı, hız faktörü, incelleme miktarı, geometrik tamlik.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

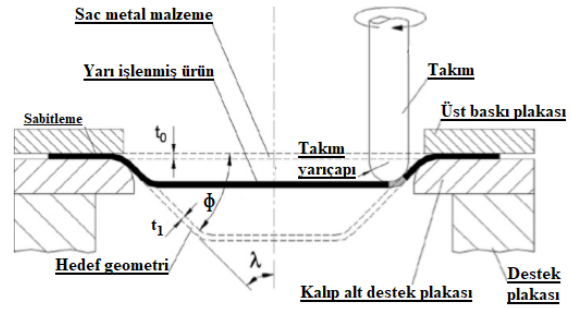
Giriş

İmalat endüstrisinde, ilk örnek üretimi, ürün geliştirme sürecinin en önemli basamağıdır. Ürünün, tasarım aşamasında ön değerlendirilmesini sağlar ve ürün geliştirme sürecini kısaltır. Örneğin otomotiv endüstrisinde bir otomobil modeli için yaklaşık 40-50 kritik panel üretilmesine ihtiyaç duyulmasına karşın bu panellerin üretilmesi için gerekli kalıp sayısı en az 150-200 adettir. Ayrıca bu süreç çoğunlukla deneme yanılma yöntemine ve kalifiye işçilerin tecrübesine dayalı olduğundan deneme amaçlı ürün geliştirme süreci oldukça yavaştır. Tüm bunlara ek olarak yatırım maliyeti ve süresi oldukça pahalıdır [1]. Bu nedenle son yıllarda Lazer ile Şekillendirme (Laser Forming), Su ile Şekillendirme (Water Assisted Forming), Ardışık Şekillendirme (Incremental Sheet Metal Forming) gibi birçok yeni sac metal şekillendirme tekniği geliştirilmiştir ve gerek bu tekniklerin geliştirilmesine gerekse de başka yöntem arayışlarına devam edilmektedir. Burada esas amaç az sayıda ürünün ya da ilk örneklerin kısa sürede düşük maliyette ve kolaylıkla imal edilebilmesidir. Tüm bu yenilikçi yöntemler içerisinde Ardışık Şekillendirme Yöntemi (AŞY) ekonomik ve esnek olması, yatırım maliyetlerinin düşük olması nedeni ile büyük ilgi görmektedir [2].

AŞY'nin özellikle otomotiv sektöründe ve bilinen birçok otomotiv firmasında kullanıldığı bilinmektedir. Alternatif alaşımlar geliştirilmesine rağmen çelik hala otomotiv endüstrisi için en önemli malzeme sınıfını teşkil etmektedir. DC01 çelikleri derin çekme yöntemi ile şekillendirmenin gerekli olduğu yerlerde kullanılan çeliklerden biridir. Bu malzemeler, sıklıkla genel çekme işlemleri ile otomotiv endüstrisinde, beyaz eşya ve mutfak eşyası imalatında kullanılmaktadır.

Ardışık sac metal şekillendirme işlemi, kademeli şekillendirme esasına dayanır. Bu yöntemde sac malzeme çoğu zaman ürüne özel olmayan bağlama elemanları yardımıyla kenarlarından genellikle 3 eksen CNC işlem merkezinin tablasına bağlanır. Şekil 1'de AŞY için kullanılan bağlama sistemi ve elemanları

görülmektedir. CAM operasyonlarında olduğu gibi ürünün formuna uygun devir sayısı, ilerleme miktarı gibi işlem parametreleri kullanılarak takım yolu oluşturulur ve parçanın şekillendirilmesi amacıyla takım tezgâhına gönderilir. Takım olarak genellikle kesici ağız bulunmayan küresel ya da burun radüslü silindirik takımlar tercih edilir. Takım yolu oluşturulurken CAM operasyonunda belirlenen kesme derinliği/talaş derinliği (cut depth) değerine göre AŞY ile şekillendirilecek nihai ürün şekillendirme seviyelerine bölünür. Takım belirlenen forma uygun olarak her şekillendirme seviyesindeki takım yolunu takip ederek sac malzemeyi bölgesel deformasyon yardımıyla şekillendirir. İşlem son şekillendirme seviyesine kadar devam eder. Yöntemin ardışık şekillendirme olarak adlandırılmasının sebebi de budur.



Şekil 1 . AŞY'nin şematik gösterimi [3].

Birçok çalışmada araştırmacılar bu yöntemin temel sınırlamalarının nihai üründe meydana gelen geri esneme ve malzeme kalınlığındaki incelleme miktarı olduğunu belirtmektedirler [4, 5].

Endüstriyel ihtiyaçlara göre sac metal ürünler için ölçü toleransı yaklaşık $\pm 0,2\text{mm}$ iken AŞY ile elde edilen parçaların ölçü toleransı yaklaşık $\pm 3\text{mm}$ 'dir [6]. Çünkü bu yöntem ile şekillendirilmek üzere tasarlanan parçanın CAD datası ile şekillendirme işleminden sonra elde edilen ama bağlama elemanından sökülmemiş ürünün ölçüleri ve geometrik özellikleri ile söküldükten sonra sadece bağlama amacıyla kullanılan gereksiz kısımları kesildikten sonra elde edilen ürünün ölçüleri ve geometrik özellikleri arasında fark vardır. Bunun nedeni ise

şekillendirme esnasında parça üzerine gelen yükler kaldırıldıktan sonra ürünün geometrisi ve ölçüsünde değişikliklere neden olan elastik deformasyondur ki bu olay geri esneme olarak adlandırılır [7]. Klasik sac metal şekillendirme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de tamamen önlenemez ama en aza indirilmesi söz konusudur [8]. Klasik sac metal şekillendirme işlemlerinde geri esneme, ürün geometrisine, sac metal malzemenin özelliklerine ve parça ile takım arasındaki yağlama durumuna göre değişmektedir [9, 10].

Karaağaç ve Özdemir DC01 çeliğinin hidromekanik şekillendirme yöntemi ile şekillendirilebilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı kalınlıklarda DC01 çeliği kullanarak sac malzeme kalınlığı, ilkel sac çapı, kalıp içi basıncı ve kalıp kavisi parametrelerinin, çekme oranı, çekme kuvveti, güç tüketimi ve şekillendirilen ürünün et kalınlığı değişimine etkileri deneysel olarak belirlenmişlerdir. Kalıp içi basıncının adı geçen malzemenin hidromekanik şekillendirme işleminde en önemli etken olduğunu tespit etmişlerdir. Sistemin doğasından kaynaklanan yağlama işlemi ile yırtılma olmaksızın daha büyük derinliklerin elde edilebildiğini ortaya koymuşlardır [11]. Köhler ve ark ise farklı sürelerle ısıtma işlemi uyguladıkları 50µm kalınlığındaki DC01 çeliği ile çekme işlemi gerçekleştirmişler ve malzeme tane boyutu ve soğuk şekillendirme işlemi olan çekme işleminin malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Isıtma süresi uzadıkça tane boyutunun arttığını ve akma dayanımının arttığını tespit etmişlerdir [12].

Literatürde yağlama durumunun sac malzemenin belirtilen yöntem ile şekillendirilebilirliğine etkilerinin incelendiği çalışmalar diğerlerine göre daha azdır. Aynı şekilde DC01 çeliklerinin şekillendirilebilirlik özelliklerinin incelendiği az sayıda çalışma bulunmasına karşın bu çeliklerin artışı şekillendirilmesinde yağlama durumunun nihai ürünün özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu nedenlerden dolayı çalışmada yağlama elemanı olarak AŞY ile ilgili deneylerde sıklıkla

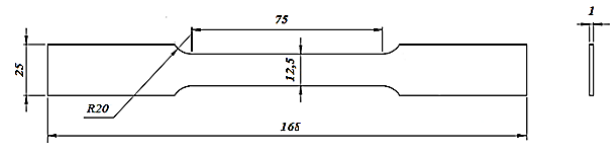
kullanılan bor yağı ile AŞY'nin derin çekme ve sıvama işlemlerinin kombinasyonu olarak değerlendirilmesinden dolayı iki farklı derin çekme ve sıvama yağı tercih edilmiştir. Yağlama elemanının yanı sıra form verme sırasında sürtünme şartlarına ve işlem sıcaklığına etkide bulunacak olan takım çapı ve devir sayısı da işlem değişkeni olarak kullanılarak günümüzde imalat sektöründe sıklıkla kullanılan DC01 çeliğinin yine bahsi geçen sektörde kullanılan artışı şekillendirme işlemi ile şekillendirilebilirliğinin incelenmesi ve yağlama şartlarının AŞY ile şekillendirme sürecine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

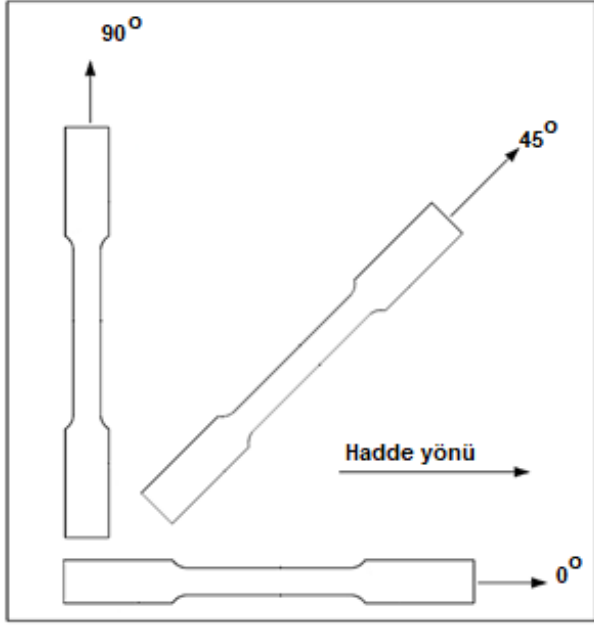
Deneysel çalışmalarda, Tablo 1'de kimyasal içeriği verilen, 1mm kalınlığındaki DC01 çelik sac malzeme kullanılmıştır. Malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için 1mm kalınlığındaki malzemeden ASTM E8-M standardına uygun ölçülerde, lazer kesme yöntemi ile 9 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme numunelerinin imalat resmi Şekil 2'de, numunelerin çıkarılma düzeninin detaylı gösterimi ise Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 1. DC01 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (%ağırlık)

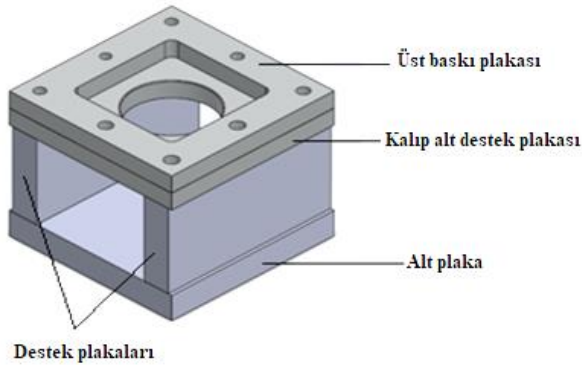
C	0.025
Mn	0.182
P	0.009
S	0.007
Si	0.003
Al	0.032



Şekil 2. Çekme test numunesinin imalat resmi (ölçüler mm)



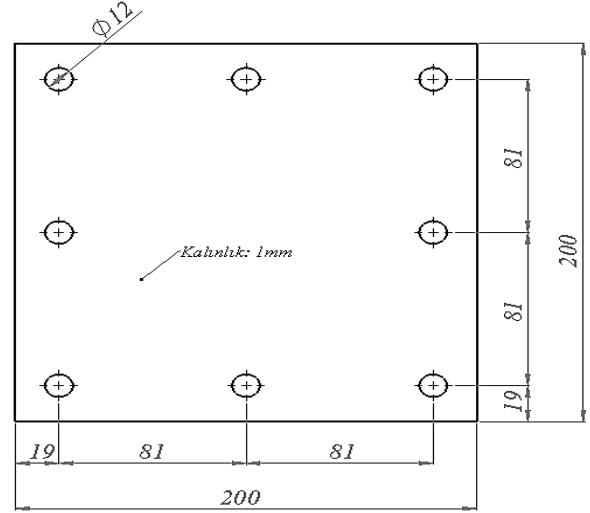
Şekil 3. Çekme test numunelerinin sac malzeme üzerindeki yerleşim planı.



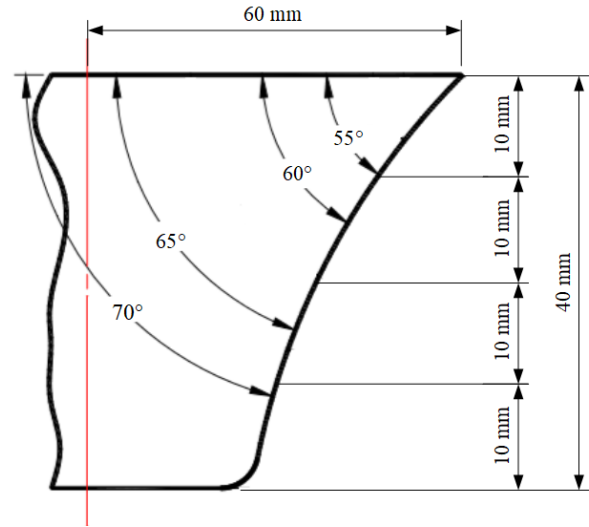
Şekil 4. Bağlama kalıbının CAD modeli.

Şekillendirme işlemleri için Negatif Tek Noktadan Temas ile Artışlı Sac Metal Şekillendirme yöntemi tercih edilmiş ve bu amaçla, Şekil 4'te CAD modeli verilen, bağlama kalıbı tasarlanarak imal edilmiştir. Bağlama kalıbı, Fanuc kontrol ünitesine sahip FIRST MCV-300 dik işleme merkezine komparatör yardımıyla bağlandıktan sonra daha önceden lazer kesme yöntemi ile hazırlanmış deney numuneleri bağlama kalıbının alt destek plakası ile üst baskı plakası arasına sabitlenmiştir. Deney numunelerinin imalat resmi Şekil 5'te, AŞY ile şekillendirme sonunda elde edilecek hedef geometri Şekil 6'da verilmiştir. Sac metal deney numunelerinin üst yüzeyinin merkezi iş parçası

sıfır noktası olarak belirlenmiştir. Artışlı şekillendirme işlemleri için UGNX3 CAD/CAM yazılımı kullanılarak helisel takım yolları türetilmiştir.



Şekil 5. Deney numunelerinin teknik resmi.



Şekil 6. Kesik koni formun detaylı görünüşü.

Çalışmada, yağlama şartlarının AŞY ile şekillendirilebilirliğe etkilerini incelemek amacıyla form verme sırasında sürtünme şartlarına ve işlem sıcaklığına etkiye bulunacak olan yağlama elemanı, takım çapı ve devir sayısı işlem değişkeni olarak kullanılmıştır. Deneylere ait işlem parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Bor yağının artışlı şekillendirme işlemleri ile ilgili deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle, bor yağı çalışmada ilk tercih edilen yağlama elemanı olmuştur. Diğer

tanımlanabileceğinden, çalışmada iki farklı çekme ve sıvama yağı kullanılmıştır. Bunlardan ilki Drawtex AC'dir. Bu yağ, özel kaydırıcılar ve EP katkıları ile korozyon önleyici yandan artışı sac metal şekillendirme işlemi derin çekme ve sıvama işlemlerinin bileşimi olarak katkıları içeren bir derin çekme ve sıvama yağıdır. Çok zor olan derin çekme ve sıvama işlemlerinde su ile karıştırılmadan kullanılır. Diğeri ise Renol EP/AC'dir. Bu, yağlama özelliği yüksek, derin çekme ve sıvama gibi zor operasyonlarda su karıştırılarak kullanılan özel metal işleme sıvısıdır.

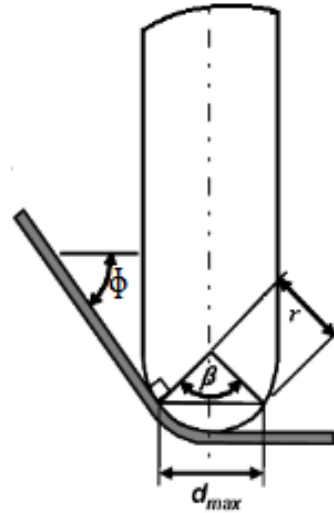
Tablo 2. Artışı sac metal şekillendirme işlemi için takım yolu üretiminde kullanılan şekillendirme parametreleri

Parametreler	Değerler
Düşey adım, h (mm)	0,5
İlerleme miktarı v, (mm/min)	500
Devir Sayısı w, (rpm)	250, 500, 1000
Takım çapı, d (mm)	5, 10, 20
Yağlama elemanı	Bor yağı, Drawtex AC, Renol EP/AC

Çalışmanın amacı, farklı karakterdeki yağlama elemanlarının, sac metal ürünler arasında yaygın olarak yer alan DC01 çeliğinin AŞY ile biçimlendirilebilirliğini incelemektir. Yağlama elemanı takım-sac malzeme temas yüzeyindeki sürtünme şartlarına etki eder. Yağlama elemanın etkilerini daha sağlıklı inceleyebilmek için belirtilen şartlara etki eden diğer faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörlerden biri de numunenin belirli bir noktadaki duvar açısıdır. Şekillendirilen duvar açısı değiştikçe takım-sac malzeme temas alanı da değişmektedir. Bu alanı değiştiren diğer bir faktör de takım çapıdır. Jeswiet ve ark. çalışmalarında takım-sac malzeme temas alanı ile takım çapı, duvar açısı arasındaki ilişkiyi açıklamışlardır. Şekil 7'de bu ilişki şematik olarak verilmektedir. Şekle göre takımın saca temas eden kısmının hesaplanması aşağıdaki eşitliklerde belirtilmiştir.

Değişkenlerin tanımları Şekil 7'de belirtilmiştir. Eş. 3 kullanılarak farklı takım çapları ve duvar açıları için takım-sac malzeme temas yüzeyi

hesaplanabilir. AŞY'nde en önemli ısı kaynağı sürtünmedir [13]. Sac malzeme-takım temas alanını değiştirmese de bahsi geçen bölgede sürtünme ısını kontrol eden diğer bir faktör ise devir sayısıdır. AŞY'nde devir sayısı ya sıfır seçilebilir ki bu durumda takım kendi ekseninde dairesel hareket gerçekleştirmez ya da devir sayısı olarak herhangi bir sayısal değer atanabilir. Jeswiet ve ark. çalışmalarında ilk koşul ile elde edilen ürünlerin yüzey kalitesinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [13]. İkinci koşulda ise bu değişkenin kontrolü şekillendirme süresince meydana gelen ısının kontrolü anlamına gelmektedir. Şekillendirme sırasında takım ile sac malzeme arasındaki bağıl hareket azaltılarak işlem sıcaklığı da azaltılabilir. Diğer yandan bazı şartlarda devir sayısı artırılarak şekillendirilebilirlik de iyileştirilebilir [13].



Şekil 7. Takım-sac malzeme temas alanı [13].

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$c = d_{max},$$

$$a = b = r,$$

$$\beta = 2\phi \quad \text{ise}$$

$$d_{maz} = r \cdot \sqrt{2(1 - \cos \beta)} \quad (2)$$

$$\bar{d} = r \cdot \sqrt{\frac{1}{2} (1 - \cos 2\phi)} \quad (3)$$

Tüm bu nedenler ile AŞY ile şekillendirme deneylerinde, yağlama elemanı ile birlikte takım çapı ve devir sayısı da işlem değişkeni olarak kullanılmıştır. Diğer yandan, çalışmada, deney sayısını arttırmadan duvar açısının etkisini de inceleyebilmek için literatürde sıklıkla kullanıldığı üzere tek bir duvar açısına sahip bir geometri yerine Şekil 6'da da görüldüğü üzere duvar açısının farklı bölgelerde farklı değerler aldığı bir hedef geometri tercih edilmiştir.

Şekillendirme işlemleri sonucunda elde edilen numuneler 3D lazer tarayıcı ile taranmış her bir numuneden elde edilen .STL dosyalarından numunelere ait CAD dataları elde edilmiştir. CAD verileri üzerinden numunelerin duvar açıları ve duvar kalınlıkları ölçülmüştür. Başarı ölçütleri belirlenirken, geometrik tamlık ve % incelme miktarı esas alınmıştır. Şekillendirilen formun farklı duvar açısına sahip her bir bölgesinin duvar açısı ile hedef geometrinin duvar açıları karşılaştırılmış ve aradaki fark geometrik tamlık olarak tanımlanmıştır. Diğer yandan numunelerin duvar bölgelerindeki kalınlık değişimleri her bir farklı bölge göz önüne alınarak ölçülmüş ve sonuçlar sac malzemenin ilk kalınlığına oranlanarak % incelme miktarı tespit edilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Çekme deneyleri sonucu elde edilen maksimum çekme gerilmesi ve % uzama miktarları Tablo 3'te, çekme deneylerinin işlenmesi ile elde edilen malzemenin mekanik özelliklerine ait bilgileri Tablo 4'te verilmiştir.

Çapı 5mm takım ve Renol EP/AC yağlama elemanı kullanılarak şekillendirilen numunelerde deney tekrar sayısı arttırılsa da takımın sürekli kırılması nedeniyle hedef geometriye ulaşılammıştır. Belirtilenler haricinde diğer tüm değişkenler ile hasarsız numuneler elde edilmiştir.

AŞY ile ilgili çalışmaların genelinde kullanıldığı üzere öncelikle çapı 10 mm olan takım ile bor yağ kullanıldığı şartlarda devir sayısının

şekillendirme sonrasında elde edilen numunenin duvar açısına etkisi incelendiğinde devir sayısının özellikle duvar açısının büyük olduğu şartlarda belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Duvar açısının 70° olduğu bölgede numune ile hedef geometrinin duvar açısı arasındaki minimum farkın yaklaşık 1,4°, maksimum farkın ise yaklaşık 2,6° olduğu, minimum farkın devir sayısının 250 rpm, maksimum farkın ise devir sayısının 1000 rpm seçildiği koşullarda elde edildiği gözlemlenmiştir. Duvar açısının 65° olduğu bölgede ise sonuçların 70°'lik bölge ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Duvar açısının 60° olduğu bölgede minimum ve maksimum farkların sırasıyla yaklaşık 6° ve 9° olduğu belirlenmiştir. Bahsi geçen bölgede numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan devir sayısının etkilerinin daha belirgin olduğu görülmüştür. $\phi=55^\circ$ bölgesinde, numune ile hedef geometrinin duvar açıları arasındaki minimum ve maksimum farkların ise sırasıyla yaklaşık 13,5° ve 22,8° olduğu saptanmıştır. Sonuçları gösteren grafik Şekil 8'de verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere geometrik tamlık değerlerinin $\phi=70^\circ-60^\circ$ olduğu şartlarda, devir sayısındaki artış ile doğru orantılı değiştiği, $\phi=55^\circ$ bölgesinde değişimin bu tespite uymadığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Maksimum çekme gerilmesi ve %uzama değerleri.

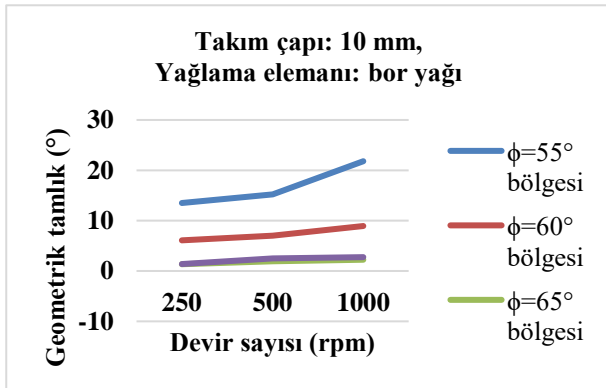
DC01	Hadde Yönü		
	0°	45°	90°
	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)		
1. Test	306,75	318,75	303,75
2. Test	294,5	296,25	302,500
3. Test	321,00	320,81	307,500
% uzama			
1. Test	19,7289	20,7484	16,3881
2. Test	26,9370	15,7177	21,4984
3. Test	22,91	16,7812	20,86,95

Takım çapının şekillendirilebilirliğe etkisine incelemek amacıyla devir sayısının 500 rpm seçildiği ve bor yağının kullanıldığı koşullarda

geometrik tamlık sonuçları incelendiğinde, en iyi sonucun çapı 20 mm olan takım ile elde edildiği görülmektedir. Belirtilen şartlarda konuya ait genel sonuçları gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde takım çapının geometrik tamlığa, şekillendirilecek formun duvar açısının büyük olduğu şartlarda, belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Diğer yandan duvar açısı azaldıkça takım çapı-geometrik tamlık ilişkisinin belirli bir kurala uymadığı saptanmıştır.

Tablo 4. Deney malzemesinin mekanik özellikleri.

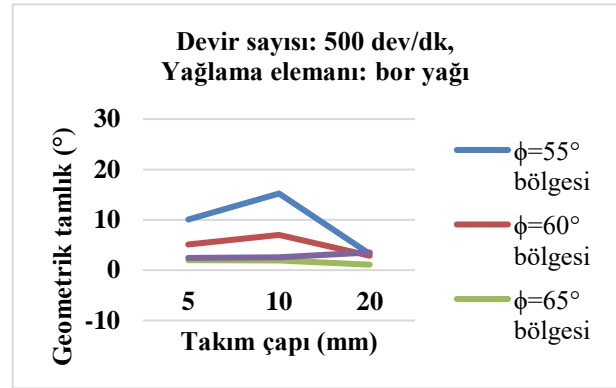
Mekanik Özellikler	
Ort. Mühendislik Gerilmesi	384,5774 MPa
Ort. Mühendislik Gerinimi	0,26 mm/mm
Ort. Akma Gerilmesi	$\sigma = 466,1745 \cdot \epsilon^{0,1745}$
Elastikiyet Modülü	141,7 GPa
Poisson Oranı	0,28



Şekil 8. $d = 10$ mm, yağlama elemanı=bor yağı şartı için geometrik tamlık-devir sayısı grafiği

Farklı yağlama elemanı kullanımının devir sayısı-geometrik tamlık ilişkisine etkilerini incelemek amacıyla takım çapı 10 mm sabit tutularak çalışmada kullanılan üç farklı devir sayısına ait geometrik tamlık-yağlama elemanı grafikleri oluşturulmuş ve bu grafikler Şekil 10, 11 ve 12'de verilmiştir. Şekil 10'daki grafik incelendiğinde en düşük devir sayısının kullanıldığı şartlarda Renol EP/AC'nin kullanıldığı şartlarda en iyi geometrik tamlık değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 11 ve 12'de verilen grafikler incelendiğinde ise

devir sayısı arttıkça Drawtex AC'nin kullanıldığı şartlarda daha iyi geometrik tamlık değerleri elde edildiği tespit edilmektedir. Yine Şekil 13'teki grafik incelendiğinde ise devir sayısının maksimum olduğu şartlarda ise Renol EP/AC ile Bor yağına kıyasla daha iyi geometrik tamlık değerlerine ulaşıldığı saptanmıştır. Takım çapının 10 mm olduğu şartlarda Drawtex AC ile elde edilen en iyi geometrik tamlık değeri yaklaşık 0,4°'dir ve devir sayısının 1000 rpm, duvar açısının 65° olduğu şartlarda elde edilmiştir. Renol EP/AC ile elde edilen en iyi geometrik tamlık değeri ise yaklaşık 0,56°'dir ve devir sayısının 250 rpm, duvar açısının 70° olduğu koşullarda elde edilmiştir. Bor yağı ile elde edilen en iyi geometrik tamlık değeri ise yaklaşık 1,35°'dir ve devir sayısının 250 rpm, duvar açısının 65° olduğu şartlarda elde edilmiştir.

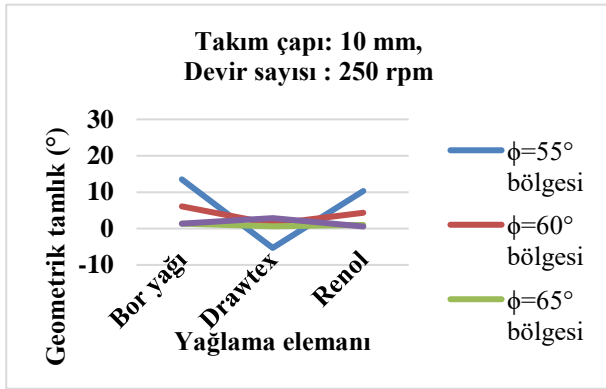


Şekil 9. $w = 500$ rpm, yağlama elemanı = bor yağı şartı için geometrik tamlık-takım çapı grafiği.

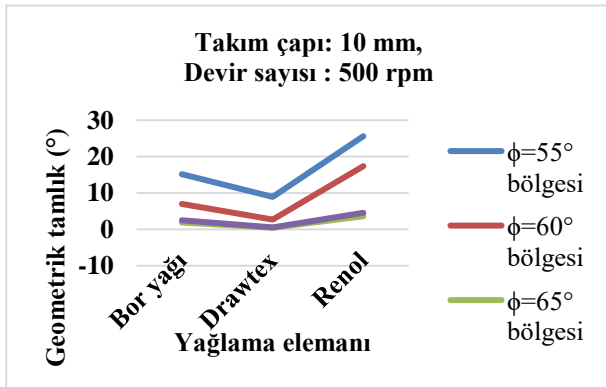
Takım çapının 5 mm olduğu koşullarda Renol EP/AC ile şekillendirme gerçekleştirilememiştir. Belirtilen koşullarda geometrik tamlık değerleri incelendiğinde Bor yağının Drawtex AC'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuçları gösteren grafik devir sayısının 500 rpm olduğu şartlar için oluşturularak Şekil 13'te verilmiştir.

Takım çapının 20 mm seçildiği şartlarda numunelere ait geometrik tamlık değerleri incelendiğinde Bor yağı ve Drawtex AC'nin Renol EP/AC'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Takım çapı 20mm, devir sayısı

500 rpm şartları için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği Şekil 14'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde küçük duvar açıları için Drawtex AC ile Bor yağına kıyasla daha iyi geometrik tamlık değerlerine ulaşılrken, açı arttıkça Drawtex AC ile elde edilen numunelerin duvar açıları ile hedef geometrinin duvar açısı arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Bor yağı ile gerçekleştirilen işlemlerde ise geometrik tamlık değerlerinin duvar açısından diğerleri kadar etkilenmediği belirlenmiştir.

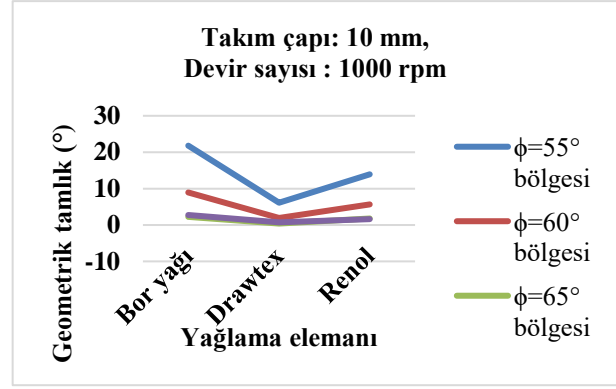


Şekil 10. $d = 10 \text{ mm}$, $w = 250 \text{ rpm}$ şartı için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği.

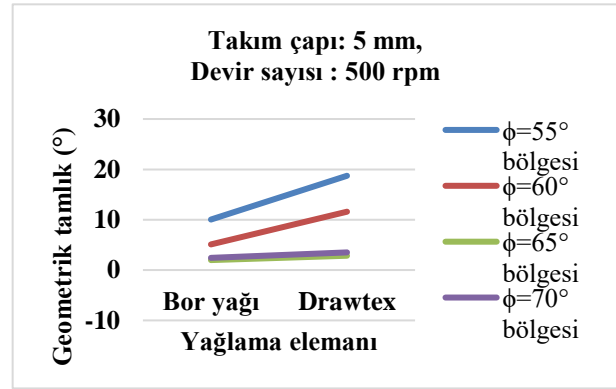


Şekil 11. $d = 10 \text{ mm}$, $w = 500 \text{ rpm}$ şartı için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği.

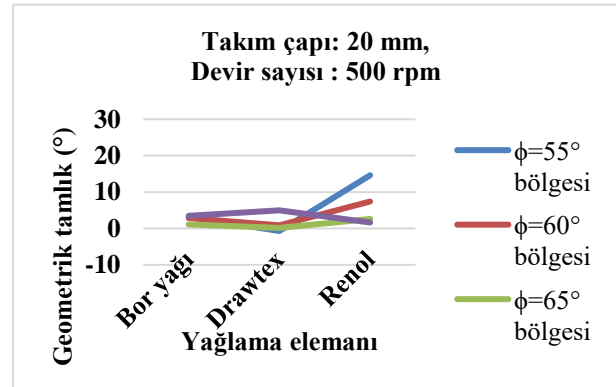
Literatürde bazı çalışmalarda AŞY ile şekillendirilmiş parçalarda gözlemlenen incelleme miktarının, geleneksel yöntemlerde belirtilen sinüs kuralına uyduğu ifade edilmektedir. Şekil 15'te verilen grafikte, Eş. 1'e göre, çalışmada belirlenen duvar açıları ile elde edilebilecek yaklaşık % incelleme miktarları verilmiştir.



Şekil 12. $d = 10 \text{ mm}$, $w = 1000 \text{ rpm}$ şartı için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği.



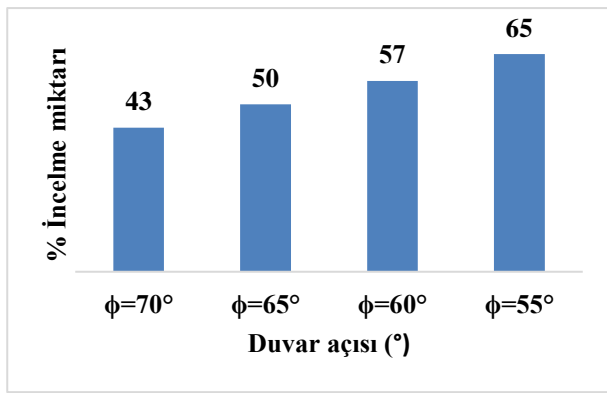
Şekil 13. $d = 5 \text{ mm}$, $w = 500 \text{ rpm}$ şartı için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği.



Şekil 14. $d = 20 \text{ mm}$, $w = 500 \text{ rpm}$ şartı için geometrik tamlık-yağlama elemanı grafiği.

Takım çapının 10 mm, yağlama elemanının Bor yağı seçildiği şartlarda devir sayısının % incelleme miktarına etkisini incelemek için %incelleme miktarı-devir sayısı grafiği Şekil 16'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, sac

malzemenin incelme miktarının, duvar açısının küçük olduğu şartlarda sinüs kuralının oldukça altında olduğu, $\phi=70^\circ$ olduğu şartlarda ise sinüs kuralının üzerine çıktığı görülmektedir. Ayrıca genel eğilim şekillendirilen duvar açısı arttıkça % incelme miktarının artması yönündedir. Ancak devir sayısı-% incelme miktarı ilişkisi incelendiğinde arada belirgin bir ilişki olduğundan bahsedilemez. Belirtilen koşullarda elde edilen maksimum incelme miktarı yaklaşık %58,59'dur ve en düşük devir sayısı ile en büyük duvar açısının şekillendirildiği şartlarda elde edilmiştir. Genel olarak $\phi=55^\circ$ bölgesinde incelme görülmemektedir.

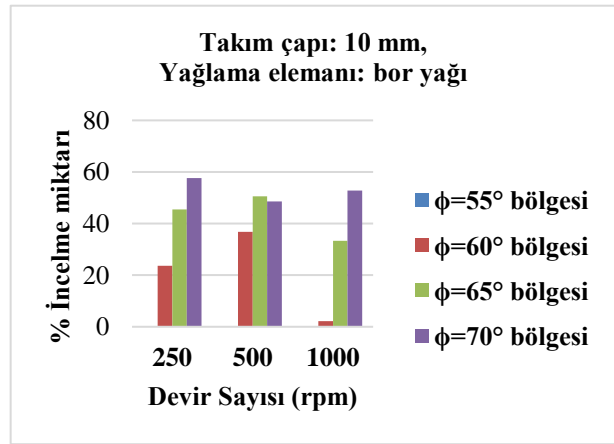


Şekil 15. Sinüs kuralına göre duvar açısı, % incelme miktarı ilişkisi.

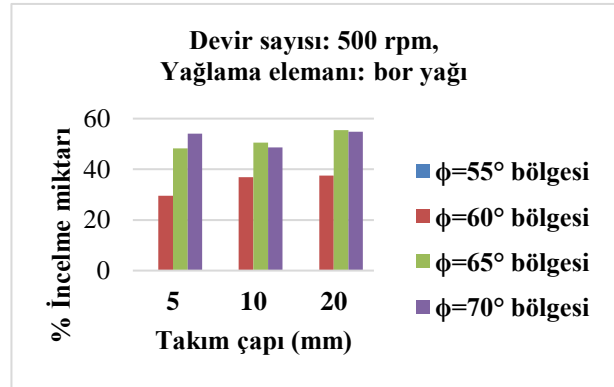
Devir sayısının 500 rpm, yağlama elemanının bor yağı seçildiği şartlarda takım çapının % incelme miktarına etkisi araştırılmış ve elde edilen grafik Şekil 17'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde genel eğilimin takım çapı arttıkça %incelme miktarının da arttığı yönündedir. Grafikte dikkat çeken diğer bir husus çap arttıkça duvar açısının % incelme miktarına etkisi azalırken, maksimum duvar açısına sahip bölgedeki % incelme miktarının takım çapından etkilenmediğidir.

Takım çapının 10 mm olduğu şartlarda devir sayısının %incelme miktarı-yağlama elemanı ilişkisine etkisinin incelenmesi amacıyla her bir devir sayısına ait grafik çizilerek Şekil 18, 19 ve 20'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde numunelerin her bölgesindeki % incelme miktarı esas alındığında en büyük % incelme miktarının devir sayısının 1000 rpm seçildiği ve Drawtex AC'nin kullanıldığı şartlarda elde edildiği

görülmektedir ve bu değer yaklaşık %63'tür. % incelme miktarı esas alındığında Drawtex AC'nin en iyi sonuç verdiği şartlar devir sayısının minimum olduğu şartlardır ve devir sayısı arttıkça bu yağlayıcı kullanılarak şekillendirilen numunelerdeki % incelme miktarı artmaktadır. Devir sayısının maksimum olduğu şartlarda Bor yağı % incelme miktarı bakımından en iyi sonucu vermektedir. Devir sayısının minimum olduğu şartlarda ise en iyi % incelme miktarını Renol EP/AC vermektedir.



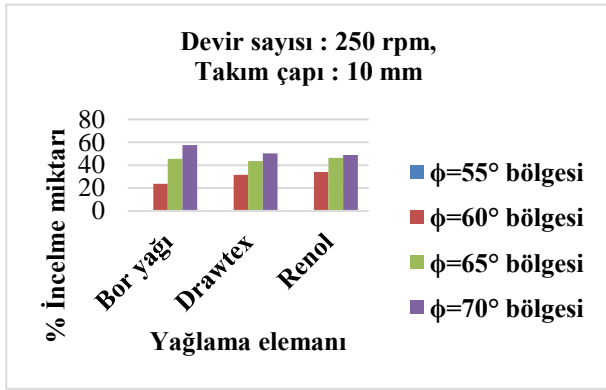
Şekil 16. $d = 10$ mm, yağlama elemanı = bor yağı şartı için % incelme miktarı-devir sayısı grafiği.



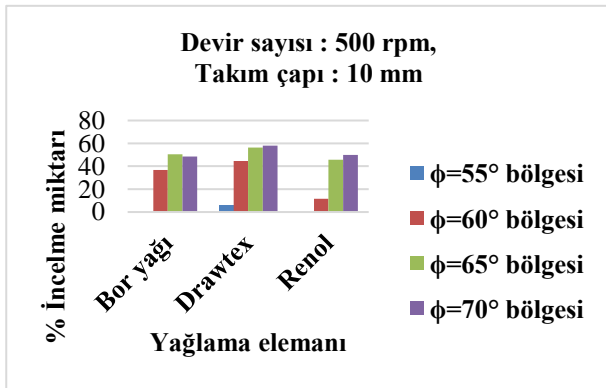
Şekil 17. $w = 500$ rpm, yağlama elemanı = bor yağı şartı için % incelme miktarı-takım çapı grafiği.

Diğer yandan devir sayısı 500 rpm, olarak sabit tutulduğu koşullarda takım çapı 5 mm ve 20 mm için yağlama elemanının % incelme miktarına etkisini incelemek amacıyla gerekli grafikler oluşturularak Şekil 21 ve 22'de verilmiştir. Şekil

19, 21 ve 22'deki grafikler birlikte incelendiğinde Renol EP/AC kullanılarak hedef geometrinin üretilmediği, bor yağı kullanılarak şekillendirilen numunelerde % incelleme miktarının takım çapından etkilenmediği görülmektedir. Yine üç grafik birlikte incelendiğinde Drawtex AC ile elde edilen en iyi geometrik tamlık değerinin takım çapının 10 mm olduğu şartlarda, Renol EP/AC ile elde edilen en iyi geometrik tamlık değerinin ise takım çapının 20 mm olduğu şartlarda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 18. $d = 10$ mm, $w = 250$ rpm yağı şartı için % incelleme miktarı-yağlama elemanı

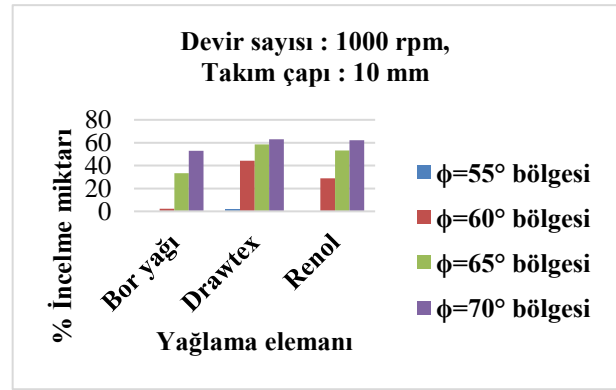


grafığı.

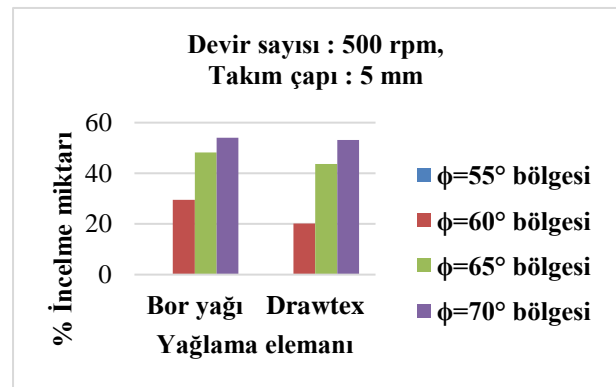
Şekil 19. $d = 10$ mm, $w = 500$ rpm yağı şartı için % incelleme miktarı-yağlama elemanı grafığı.

AŞY'nde gerekli işlem sıcaklığının şekillendirilebilirlik için en önemli etken olduğu bilinmektedir. Şekillendirme işlemi boyunca elde edilen işlem sıcaklığının az olması durumunda üretilen form hedef geometriye ulaşamayacaktır. Diğer taraftan işlem sıcaklığı

gereğin üzerinde olduğunda artan sıcaklık ile sac malzemenin şekillendirilebilirliği artacak ve hedef geometriden daha büyük duvar açısına ancak daha ince duvar kalınlığına sahip ürünler elde edilecektir. Bu nedenle her bir yağlama elemanının DC01 çelik sac malzemenin AŞY ile şekillendirilebilirliğine etkisi araştırıldığında her iki başarı ölçütünün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca işlem sırasında takım-sac malzeme temas alanının bilinmesi de sonuçların doğru yorumlanabilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle Şekil 23'te deney parametrelerine göre Eş. 3 yardımıyla hesaplanan takım-sac malzeme temas miktarı grafığı verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere takım çapı ve duvar açısı arttıkça takım-sac malzeme temas alanı artmaktadır.



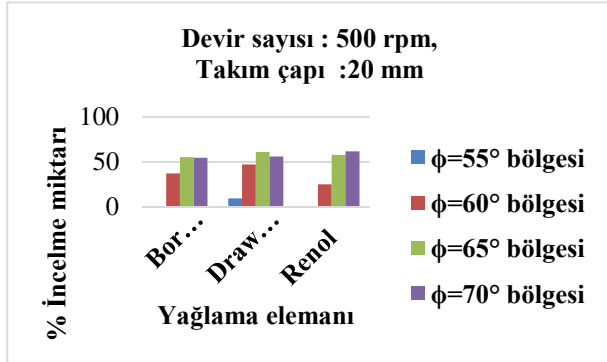
Şekil 20. $d = 10$ mm, $w = 1000$ rpm yağı şartı için % incelleme miktarı-yağlama elemanı grafığı.



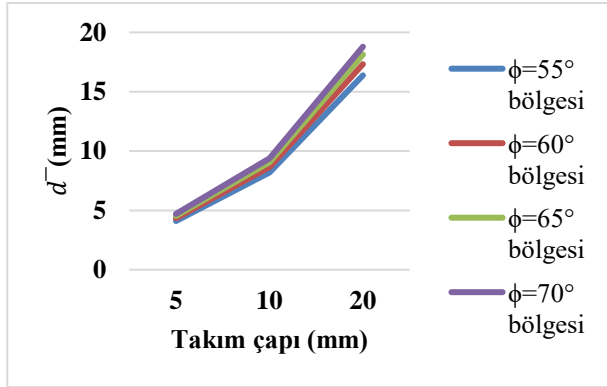
Şekil 21. $d = 5$ mm, $w = 500$ rpm yağı şartı için % incelleme miktarı-yağlama elemanı grafığı.

Genel sonuçlar incelendiğinde duvar açısının 55° olduğu bölge, şekil vermeye ilk başlanan bölge olduğundan bu bölgede artışlı şekillendirme ile

birlikte bükme de meydana gelmektedir. Bu nedenle bahsi geçen bölgede incelleme meydana gelmediği gibi geometrik tamlık bakımından en problemlili bölge de bu bölgedir.



Şekil 22. $d = 20$ mm, $w = 500$ rpm yağı şartı için % incelleme miktarı-yağlama elemanı grafiği.



Şekil 23. Farklı duvar açıları için takım çapı temas yüzeyi grafiği.

Çalışmada her koşul için ilerleme miktarı 500 mm/min sabit seçildiği göz önüne alındığında takım, kendi etrafında bir tam turu tamamlayana kadar geçen sürede ilerleme miktarı / devir sayısı oranı kadar yol almaktadır ki bu oran bazı kaynaklarda hız faktörü olarak tanımlanmaktadır [14,15]. Hız faktörü azaldıkça işlem sırasında meydana gelen sürtünme ısı artmaktadır. Hız faktörü sabit tutularak yağlama elemanları karşılaştırıldığında Drawtex AC ile optimum geometrik tamlık ve % incelleme miktarı değerleri, takım çapının 10 mm olduğu şartlarda elde edilmiştir. Takım çapı dolayısıyla takım-sac malzeme temas alanı arttıkça geometrik tamlık değerleri iyileşirken % incelleme miktarı artmaktadır. Hız faktörüne göre

sürtünme ısı azaldıkça hem geometrik tamlık hem de % incelleme miktarı değerleri iyileşmektedir. Bu şartlar değerlendirildiğinde gerek temas alanı bakımından gerekse sürtünme ısı bakımından işlem sıcaklığının düşük olduğu şartlarda Drawtex AC optimum özellikler vermektedir. Belirtilen yağlama elemanının su ile karıştırılmadan kullanıldığı düşünüldüğünde Drawtex AC'nin yağlama özelliğinin soğutma özelliğinden daha iyi olduğu görülmektedir. Aynı şartlarda Bor yağı değerlendirildiğinde, optimum değerlerin maksimum takım çapı ile elde edilmekte, takım çapı azaldıkça hedef geometri ile numunelerin duvar açıları arasındaki fark artarken, % incelleme miktarı azalmaktadır. Hız faktörüne göre hız faktörü arttıkça hem % incelleme miktarı artmış hem de hedef geometrinin duvar açısı ile numunelerin duvar açıları arasındaki fark artmıştır. Renol EP/AC ile yapılan çalışmalarda optimum değerler takım çapının maksimum olduğu şartlarda elde edilmektedir. Takım çapı azaldıkça % incelleme miktarı azalırken hedef geometri ile numunelerin duvar açıları arasındaki fark artmaktadır. Ayrıca hız faktörüne göre sürtünme ısı arttığında geometrik tamlık iyileşirken % incelleme miktarı artmaktadır. Bahsi geçen yağlama elemanı ile gerek temas alanının gerekse hız faktörüne göre sürtünme ısısının maksimum olduğu şartlarda optimum değerlerin elde edilmesi, yağlama elemanının soğutma özelliğinin daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum çapı 5 mm olan takımın işlem sırasında kırılmasını da açıklamaktadır. Burada diğer bir dikkat çekici nokta Renol EP/AC ile Bor yağının benzer şartlarda optimum değerler vermesidir. Bunun nedeni her iki yağlama elemanının da su ile karıştırılarak kullanılmasıdır. Dolayısıyla her iki yağ da soğutma özelliği yüksek olan yağlama elemanlarıdır. Renol EP/AC ile elde edilen geometrik tamlık değeri yaklaşık $0,3^\circ$ iken Bor yağı için bu değer yaklaşık $0,55^\circ$ 'dir. İki yağlama elemanı % incelleme miktarı bakımından kıyaslandığında belirtilen şartlarda Renol EP/AC ile elde edilen değer yaklaşık %33,82 iken Bor yağı için bu değer yaklaşık %24,13'tür.

Çalışmada yağlama elemanı ile birlikte işlem ısısına etki eden takım çapı, devir sayısı, duvar

açısı gibi değişkenlerin DC01 malzemenin AŞY ile elde edilen numunelerin kalitesine etkileri incelenmiştir. Sonuçlara, hız faktörüne göre sürtünme ısısının ve takım-sac malzeme temas alanının etki ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmadan elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Şekillendirmenin başladığı bölgede artışlı şekillendirilmeden daha çok bükme meydana gelmiş ve bahsi geçen bölgede incelleme görülmemiş ve istenilen duvar açıları elde edilememiştir Renol EP/AC kullanıldığı şartlarda takım kırıldığı için çapı 5 mm olan takım ile hedef geometriye ulaşılamamıştır. Diğer şartlarda hasarsız numuneler elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonunda, bor yağının soğutma özelliğinin, su ile karıştırılmayan çekme sıvama yağının ise yağlama özelliğinin daha baskın olduğu, su ile karıştırılan çekme sıvama yağının hem yağlama hem soğutma özelliğine sahip olduğu ancak soğutma özelliğinin su ile karıştırılmayan çekme sıvama yağına göre daha üstün, bor yağına göre daha zayıf, yağlama özelliğinin ise bor yağına göre daha üstün, su ile karıştırılmayan çekme sıvama yağına göre daha zayıf olduğu belirlenmiştir.

Takım çapı ve duvar açısı arttıkça takım-sac malzeme temas alanı artmaktadır. Ayrıca takım, kendi etrafında bir tam turu tamamlayana kadar geçen sürede ilerleme miktarı / devir sayısı oranı kadar yol almaktadır ve bu oran literatürde hız faktörü olarak tanımlanmaktadır. Hız faktörü azaldıkça diğer bir deyişle devir sayısı arttıkça işlem sırasında meydana gelen sürtünme ısısı artmaktadır.

Hız faktörüne göre sürtünme ısısı azaldıkça hem geometrik tamlık hem de % incelleme miktarı değerleri iyileşmektedir. Bu şartlar değerlendirildiğinde gerek temas alanı bakımından gerekse sürtünme ısısı bakımından işlem sıcaklığının düşük olduğu şartlarda Drawtex AC optimum özellikler vermektedir. Soğutma özelliği yağlama özelliğine göre daha yüksek olan su ile karıştırılan yağlama

elemanları ile yapılan çalışmalarda takım çapı arttıkça optimum sonuçlar elde edilmiş, takım çapı azaldıkça % incelleme miktarı azalsa da hedef geometriye istenilen tamlıkla ulaşılamamıştır.

Teşekkür

Bu çalışmayı, 2013-121 nolu proje ile destekleyen Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Van Sy L., (2009) Modelling of Single Point Incremental Forming Process for Metal and Polymeric Sheet”, Doctoral Thesis, Padua University, Padova.
- Hussain G., Gao L., Dar N. U., (2007) An Experimental study on some formability evaluation methods in negative incremental forming”, *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 54-53.
- Martins, P. A. F., Bay, N., Skjødt, M., & Silva, M. B., (2008) Theory of single point incremental forming. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 57(1), 247-252.
- Ambraglio G., Cozza V., Filice L., Micari F., (2007) An Analytical Model for Improving Precision in Single Point Incremental Forming , *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 92-95.
- Hirt G., Ames J., Bambach M., Kopp R., (2004) Forming Strategies of Process Modelling for CNC Incremental Sheet Forming, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 53(1), 203-206.
- Allwood J. M., Braun D., Music O., (2010) The Effect of Partially cut-out Blanks on Geometric Accuracy in Incremental Sheet Forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1501-1510.
- Liu W., Liu Q., Ruan F., Liang Z., Qui H., (2007) Springback Prediction for Sheet Metal Forming Based on GA_ANN Technology, *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 227-231.
- Tekaslan Ö., Gerger N., Şeker U., (2008) V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarının Tespiti, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 23(1), 231-238.
- Panthi S. K., Ramakrishnan N., Ahmed M., Singh S. S., Goel M. D., (2010) Finite Element

- Analysis of Sheet Metal Bending Process to Predict the Springback, *Material and Design*, 31, 657-662.
- De Souza T., Rolfe B. F.,(2010) Characterising Material and Process Variation Effects on Springback Robustness for a Semi-Cylindrical Sheet Metal Forming Process, *International Journal of Mechanical Sciences* 52, 1756-1766.
- Karaağaç İ., Özdemir A., (2011) Erdemir 6112 sac malzemenin hidromekanik derin çekme yöntemiyle şekillendirilebilirliği, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26-4, 841-850.
- Köhler B., Bomas H., Hunkel M., Lütjens J., Zoch H. W., (2010) Yield strength behaviour of carbon steel microsheets after cold forming and after annealing, *Scripta Materialia*, 62, 548-51.
- Jeswiet, J., Micari, F., Hirt, G., Bramley, A., Duflou, J., & Allwood, J., (2005) Asymmetric single point incremental forming of sheet metal, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(2), 88-114.
- Hamilton K., Jeswiet J., (2010) Single point incremental forming at high feed rates and rotational speeds: Surface and structural consequences, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59, 311-314.
- Ambrogio G., Filice L., Gagliardi F., (2012) Formability of lightweight alloys by hot incremental sheet forming, *Materials & Design*, 34, 501-508.

Investigation of the influence of lubrication state on formability of DC01 steel alloy sheet metal by ISF

Extended abstract

The aim of present study focuses on investigating the performance of lubricants used during Incremental Sheet Metal Forming (ISF) process of DC01 steel sheet alloys. It is known that the source of process temperature is friction in ISF operations and tool-sheet metal contact area and spindle speed when the area is constant during the operation control friction temperature. In an attempt to explain effects of lubricants on the quality formed by ISF method, also influence of the mentioned two parameters on product quality were investigated.

In this study, the truncated conical with four different wall angle was formed by ISF. Tool diameter, spindle speed, lubrication type were set as variables of experiments. Thinning % and geometrical accuracy were defined as performance criteria.

The CAD data of formed parts were obtained by 3D laser scanning and used to measure wall angle and thickness. The difference between wall angles of target geometry and formed parts was defined as geometrical accuracy and difference between the initial and final thicknesses of sheet metal is specified as thinning %.

In the present study, three different lubricants (boron oil and water-soluble drawing and spinning oil-Renol EP/AC and water-insoluble drawing and spinning oil- Drawtex AC), tool diameter ($\varnothing 5$ mm, $\varnothing 10$ mm and $\varnothing 20$ mm) and spindle speeds (250 rpm, 500 rpm, 1000 rpm) were used.

Defect-free samples could be formed using all parameters except the conditions used the smallest tool diameter and water-soluble drawing, and spinning oil.

The main findings of this study are as follows. In the first zone where forming begins, bending occurred instead of incremental sheet metal forming and also thinning do not observed in the mentioned zone.

It is confirmed that, the boron oil has the best cooling effect when the water-insoluble drawing and spinning oil has the best lubrication effect.

It is clear that, tool/sheet metal contact area increased with increasing tool diameter and forming wall angle. On the other hand, the ratio of feed-rate in other words forming speed to spindle speed is defined as speed factor in the literature. The experimental results showed that, friction temperature generated during incremental sheet metal forming process increased with the decreasing speed factor. Also, better geometric accuracy and thinning values was obtained with decreasing speed factor.

On the other hand, water-insoluble drawing and spinning oil has the best lubrication properties gave the better result in the conditions used low process temperatures and small tool/sheet metal contact area. The optimum result was determined with water-soluble drawing and spinning oil when the tool diameter increased. Moreover, it is observed that, the thinning % was reduced with decreasing tool diameter. Also, geometric accuracy was decreased when the mentioned lubricant was used.

Keywords ISF, lubrication, speed factor, thinning, geometric accuracy.



KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin çekme kuvvetine etkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Burak YENİGÜN*

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

burak.yenigun@batman.edu.tr ORCID: 0000-0002-7260-3797, Tel: (488) 217 35 00 (3738)

Erol KILIÇKAP

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

ekilickap1@gmail.com ORCID: 0000-0001-5519-2917

Geliş: 21.12.2018, Revizyon 08.01.2019, Kabul Tarihi: 15.02.2019

Öz

Karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitlerin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte araştırmacıların bu malzemelere olan ilgisi artmaya başlamıştır. Artan bu ilgi KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesi problemini de beraberinde getirmiştir. KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan en yaygın işleme yöntemi delme işlemidir. Ancak KETP kompozitlerin delme işlemlerinde deformasyon, kötü yüzey kalitesi, matris yanması gibi bazı problemler meydana gelmektedir. Bu problemler KETP kompozitlerin daha çabuk hasara uğramasına ya da atıl duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, 0/90 elyaf yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde takım tipi, ilerleme oranı ve iş mili devri gibi delme parametrelerinin KETP kompozitlerin çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. İlk aşamada KETP kompozitler; 140° uç açısına sahip WC (Sert Karbür), 118° uç açısına sahip HSS (Yüksek Hız Çeliği) ve Ağaç (Brad Spur) kesici takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delinmiştir. İkinci aşamada takım uç geometrisinin ve malzemesinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin; KETP kompozitlerin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Bu etkileri sayısal olarak tanımlamak için de varyans (Anova) analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, deformasyon ve çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin takım tipi olduğu görülmüştür. KETP kompozitlerin delinmesinde optimum parametrelerin WC takım tipi, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olduğu ve optimum delme parametrelerinde delinmesi durumunda çekme kuvvetinin %19 oranında daha yüksek elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme Kuvveti; Deformasyon Faktörü; Kesme Kuvveti; KETP; Varyans Analizi; Yüzey Pürüzlülüğü.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitler iyi mekanik özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır (Lin ve Tang, 1994; Montesano vd., 2017; Topkaya ve Solmaz, 2018). KETP kompozitler son şekle yakın üretilmelerine rağmen bazı durumlarda talaşlı işlenmesi gerekmektedir (Tao vd., 2016). Matris ve takviye elemanlarının farklı mekanik özelliklere sahip olması ve bunun yanında karbon elyaflarının da aşındırıcı özelliğe sahip olması KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesini zorlaştırmaktadır (Geier ve Tibor, 2017; Singh vd., 2013). Delme işlemi, KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesinde en sık kullanılan işleme yöntemidir (Saoudi vd., 2016). KETP kompozitlerin anizotropik özelliğe sahip olmasından dolayı bu malzemelerin delinmesinde elyaf kırılmaları, deformasyonlar ve mikro çatlaklar gibi delme hasarları meydana gelmektedir (Gaitonde vd., 2008; Panchagnula vd., 2017; Priarone vd., 2017). Bu durum KETP kompozitlerin dayanımlarını ve kullanım ömürlerini azalmaktadır (Bonnet vd., 2015; Dogrusadik ve Kentli, 2017; Klotz vd., 2017; Pandit 2017). Delme hasarlarından dolayı uçak sanayisinde üretilen malzemelerin %60'a yakını atıl duruma gelmektedir (Debnath ve Singh, 2017; Liu vd., 2012).

Araştırmacılar çalışmalarında KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen delme hasarlarını engellemeye ya da en düşük seviyede tutmaya çalışmışlardır. KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametreleri, takım uç geometrisi ve malzemesi delme kalitesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. KETP kompozitlerde delme kalitesinin yüksek olması, KETP kompozitlerin çekme dayanımlarını ve yorulma ömürlerini, önemli derecede iyileştirmektedir.

Kılıçkap ve diğerleri (2017) CETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin çekme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla

deformasyon faktörünün arttığını dolayısıyla da CETP kompozitin dayanımının azaldığını, WC takım kullanılarak 10 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinde CETP malzemenin dayanımının daha az düştüğünü açıklamışlardır. Nasır ve diğerleri (2015) keten elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme koşullarının çekme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, dayanım kaybında takım uç tipinin ihmal edilebilir olduğunu ve en yüksek dayanımın; düşük ilerleme oranı ve yüksek iş mili devrinde yapılan delme işlemlerinde meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Pandit (2017) bir çalışmada farklı parametrelerde delinen kompozitlerin çekme dayanımlarını incelemiştir. İş mili devrinin çekme dayanımını etkileyen en önemli parametre olduğunu açıklamıştır.

Daha önce yapılan literatür çalışmalarında KETP kompozitlerin delme işleminde oluşan hasarlar ve bu hasarlara etki eden parametrelerin incelendiği görülmüştür. KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin ve takım malzemesinin kesme kuvveti, deformasyon, yüzey kalitesi ve çekme kuvveti üzerine etkisini içeren kapsamlı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmada, KETP kompozitlerin delinmesinde iş mili devri ve ilerleme oranı gibi delme parametreleri ile takım uç geometrisi ve malzemesinin; kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Sonrasında KETP kompozitlerde optimum delme parametrelerini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır.

Materyal ve yöntem

Materyal

Deneylerde kullanılan KETP kompozitler Innoma İnovatif Malzeme Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. tarafından; 0/90 elyaf yönlendirme açısına sahip karbon elyafı ile polyester kullanılarak 500 mm x 500 mm x 6 mm ebatlarında üretilmiştir. Daha sonra çekme deneyleri için ASTM D5766–2002 standardına uygun olarak 150 mm x 36 mm x 6 mm ebatlarında kesilmiştir. KETP kompozitler 11

tabakadan meydana gelmektedir. Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan KETP kompozitlerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. KETP malzemelerin özellikleri

Malzeme	Karbon + Polyester
Hacim Oranı (%)	55+45
Yoğunluk (g/cm ³)	1.5
Çekme Dayanımı (MPa)	684.3

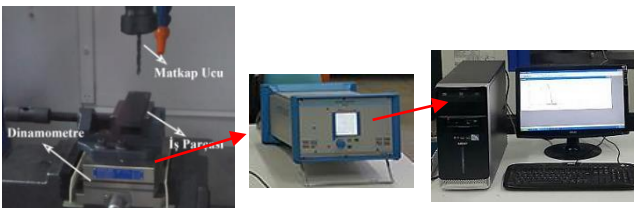
Delme İşlemi

KETP kompozitlerin delme işlemleri, Brother marka SPEEDIO S500x1 model CNC dik işleme merkezinde WC, HSS ve Ağaç takımları kullanılarak 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında soğutucu sıvı kullanılmadan her bir parametre için 3 defa tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Delme parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Delme parametreleri

Parametre	Seviye
Kesici Takım	WC, HSS, AĞAÇ
İş Mili Devri (dev/dk)	1000, 2000, 3000
İlerleme Oranı (mm/dev)	0.05, 0.10, 0.15

KETP kompozitlerin delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9257B 3 eksenli dinamometre ile çok kanallı amplifikatör kullanılmıştır. Delme deney düzeneği ve kesme kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Delme ve kesme kuvveti ölçüm düzeneği

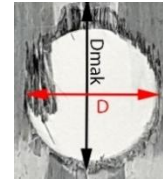
Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçümü

Delinen KETP kompozitlerin yüzey pürüzlülükleri TimeSurf T200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Örnekleme uzunluğu 0.25 mm ve örnekleme sayısı 5 olarak alınmıştır. Her bir deliğin 4 farklı noktasından 3’er defa yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülükleri bulunmuştur.

Deformasyon Faktörünün Ölçümü

KETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyon faktörünü belirlemek için MedPro Microscopy marka MM800TRF model optik mikroskop kullanılmıştır. KETP kompozitlerin delinmesinde delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörü; $Fd = \frac{D_{mak}}{D}$ formülü ile tespit edilmiştir. Şekil 2’de deformasyonun hesaplanmasına ait görüntü gösterilmiştir.



Şekil 2. Deformasyon faktörü

Çekme Kuvvetinin Tespiti

KETP kompozitlerin yüzey pürüzlülükleri ve deformasyon faktörleri tespit edildikten sonra 250 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu Autograph AG-IC universal test cihazı kullanılarak çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Her bir parametre için çekme deneyleri 3 defa tekrarlanmıştır. Çekme deneyleri ASTM 3039 standardına uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme cihazına ait görüntü Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme deney cihazı

Varyans Analizi

KETP kompozitlerin delinmesinde, iş mili devri, ilerleme ve takım uç geometrisinin ve malzemesinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvvetini hangi oranda etkilediğini belirlemek için yapılan varyans analizinde Minitab 16 yazılımı kullanılmıştır. Burada sinyal/gürültü (S/N) oranı belirlenmiş ve ana etki grafikleri elde edilmiştir. S/N oranının en büyük olduğu seviye optimum seviyeyi belirtmektedir.

DeneySEL sonuçlar

KETP kompozitlerin delme işlemleri; WC, HSS ve Ağaç takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, deformasyon faktörleri ve çekme kuvvetleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. KETP kompozitlerin delinmesinde elde edilen deneysel sonuçlar

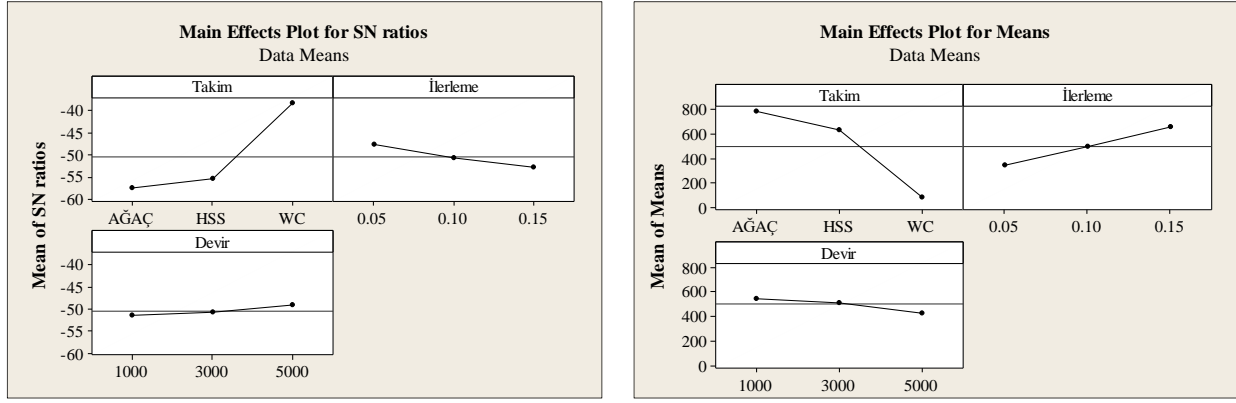
Kesici Takım	İlerleme Oranı (mm/dev)	Kesme Kuvveti (kN)			Yüzey Pürüzlülüğü			Deformasyon Faktörü			Çekme Kuvveti (MPa)		
		1000	3000	5000	1000	3000	5000	İş Mili Devri (dev/dk)			1000	3000	5000
								1000	3000	5000			
WC	0.05	77	68	59	2.65	1.71	1.27	1.27	1.24	1.22	98.7	100.3	101.4
	0.10	93	87	74	2.96	2.04	1.44	1.31	1.28	1.26	96.4	97.5	99.1
	0.15	108	101	86	3.22	2.42	1.79	1.33	1.31	1.29	93.7	95.3	96.2
HSS	0.05	501	406	271	3.14	2.79	2.24	1.34	1.31	1.29	92.6	97.0	99.4
	0.10	735	682	512	4.09	3.24	2.60	1.39	1.36	1.33	89.6	92.0	96.1
	0.15	937	891	787	4.69	3.62	3.00	1.44	1.40	1.36	87.5	89.5	93.3
AĞAÇ	0.05	633	593	511	4.27	4.01	3.41	1.43	1.40	1.36	88.1	93.2	97.1
	0.10	846	823	649	4.88	4.34	3.74	1.45	1.43	1.40	84.7	89.6	92.4
	0.15	1049	1003	953	5.67	4.63	3.96	1.49	1.47	1.45	82.0	82.5	89.3

Araştırmacılar iş mili devrinin artmasıyla delme kalitesinin arttığını (Pandit 2017; Paoletti 2003; Persson vd., 1997), ilerleme oranının artmasıyla da delme kalitesinin azaldığını tespit etmişlerdir (Pandit 2017; Paoletti 2003; Persson vd., 1997; Saleem 2010). Bu çalışmada literatür çalışmalarına paralel olarak, yüksek ilerleme oranlarında delme kalitesinin daha düşük olduğunu yani kesme kuvvetinin, yüzey pürüzlülüğünün ve deformasyonun daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ve bunlara bağlı olarak ta KETP kompozitlerin çekme kuvvetlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan yüksek iş mili devirlerinde ise daha iyi delme kalitesi elde edildiğinden KETP kompozitlerin çekme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek çekme kuvvetleri WC takım ile düşük ilerleme oranı ve yüksek iş mili devri ile gerçekleştirilen delme işlemlerinden elde edilirken, en düşük çekme kuvvetleri Ağaç takım ile yüksek

ilerleme oranı ve düşük iş mili devri ile gerçekleştirilen delme işlemlerinden elde edilmiştir.

Kesme kuvveti için varyans analizi

Takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin kesme kuvveti üzerine S/N ve ana etki grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. KETP kompozitlerde optimum parametreleri S/N değerlerinin en yüksek olduğu; WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olarak tespit edilmiştir. Tablo 4'te KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen kesme kuvveti için varyans tablosu verilmiştir. KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin takım tipi (%77.4) ve ilerleme oranı (%13.7) olduğu görülmüştür. Ayrıca iş mili devrinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Kesme kuvveti için S/N ve ana etki grafikleri

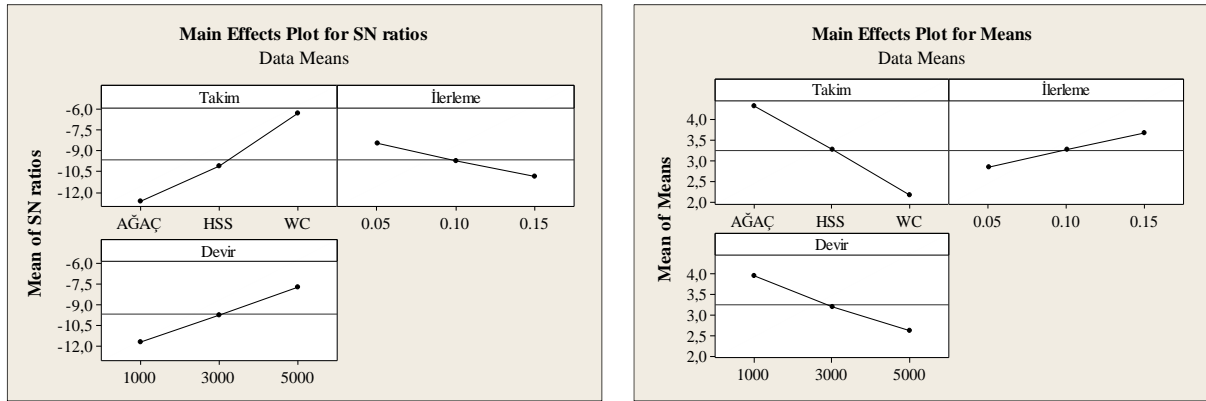
Tablo 4. Kesme kuvveti için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	2,453,055	1,226,528	114.65	%77.4
İlerleme Oranı	2	434,354	217,177	20.30	%13.7
İş Mili Devri	2	67,749	33,874	3.17	%2.1
Hata	26	213,959	10,698	-	%6.7

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden; parametrelerin S/N ve ana etki grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Kesme kuvveti sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Optimum parametreleri WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N ve ana etki grafikleri

Tablo 5'te yüzey pürüzlülüğü için varyans tablosu verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili ikinci parametrenin takım tipinden (%77.4) sonra iş mili devri (%24.9) olduğu görülmüştür.

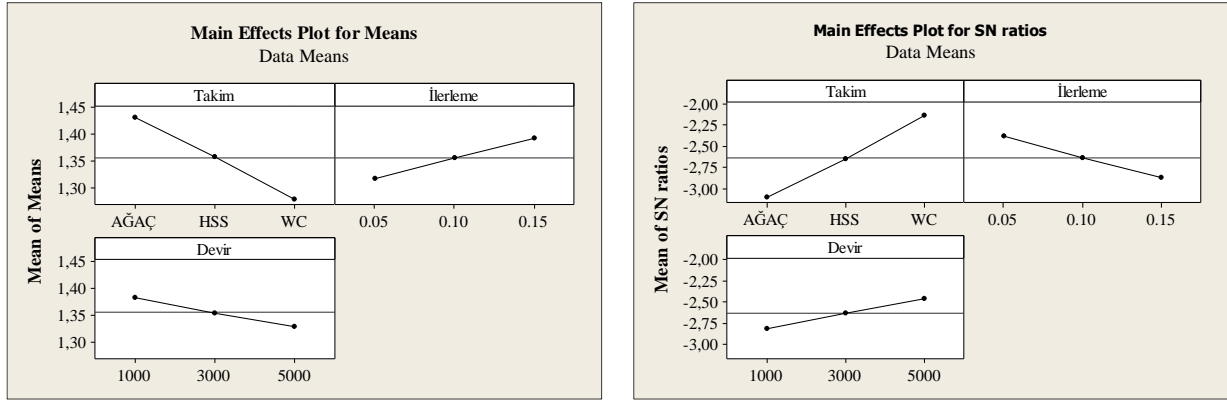
Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	20.9	10.4668	312.19	%63.6
İlerleme Oranı	2	3.13	1.5669	46.74	%9.5
İş Mili Devri	2	8.19	4.0991	122.26	%24.9
Hata	20	0.67	0.0335	-	%2.0

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Deformasyon faktörü için varyans analizi

Şekil 6'da takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine S/N ve ana etki grafikleri gösterilmiştir. Önceki sonuçlara benzer olarak WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri optimum parametreler olarak tespit edilmiştir. Tablo 6'da deformasyon faktörü için varyans tablosu verilmiştir. Deformasyon faktörü üzerinde en etkili olan parametrenin kesme kuvvetine benzer olarak takım tipi (%72.12) ve ilerleme oranı (%17.76) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Deformasyon faktörü için ana etki grafikleri

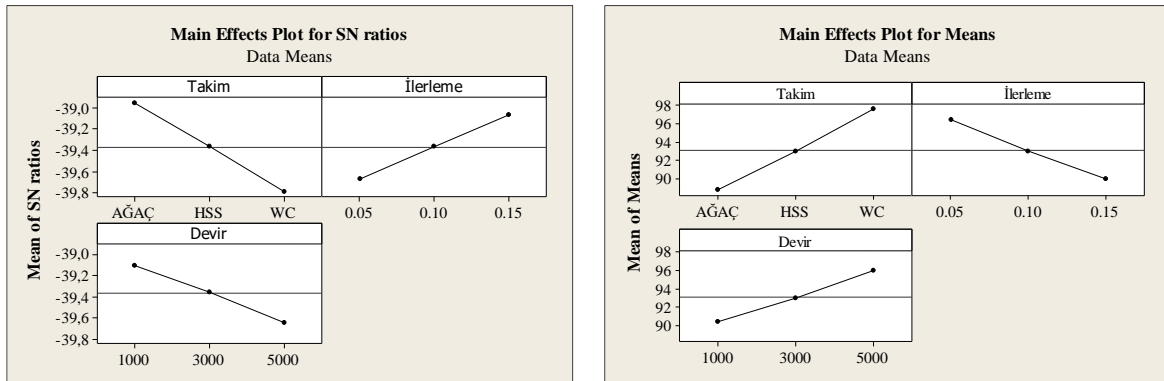
Tablo 6. Deformasyon faktörü için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	0.1043	0.0522	804.74	%72.12
İlerleme Oranı	2	0.0257	0.0128	198.23	%17.76
İş Mili Devri	2	0.0133	0.0067	102.91	%9.22
Hata	20	0.0013	0.0001		%0.9

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Çekme kuvveti için varyans analizi

Takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin çekme kuvveti üzerine S/N oranı ve ana etki grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Optimum parametreler olarak WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri tespit edilmiştir. Çekme kuvveti için varyans tablosu Tablo 7'de verilmiştir. Çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin takım tipi (%48.4) ve ilerleme oranı (%26.08) olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Çekme kuvveti için ana etki grafikleri

Tablo 7. Çekme kuvveti için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	353.12	176.56	85.49	%48.41
İlerleme Oranı	2	190.22	95.11	46.05	%26.08
İş Mili Devri	2	144.77	72.38	35.05	%19.85
Hata	20	41.31	2.07		%5.66

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Sonuçlar ve tartışma

0/90 elyaf açısına sahip KETP kompozitler WC, HSS ve Ağaç takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında delinmiştir. Delme işlemi esnasında kesme kuvvetleri sonrasında ise deformasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Son aşamada ise farklı

parametrelerde delinmiş KETP kompozitlerin çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Delme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkilerini belirlemek için varyans (Anova) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda;

- 0/90 elyaf açısına sahip KETP kompozitler için en uygun takımın WC takım olduğu,
- En uygun ilerleme oranının 0.05 mm/dev düşük ilerleme olduğu,
- En uygun iş mili devrinin 5000 dev/dk olduğu yüksek iş mili devri olduğu,
- Kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin takım tipi olduğu
- En uygun delme parametrelerde gerçekleştirilen delme işlemlerinde KETP'in çekme kuvvetinde %19'luk bir kaybın engellenebileceği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Batman Üniversitesi BTÜBAP-2016-DOKTORA-1 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Girard, Y. ve Costes, J.P. (2015). CFRP drilling: Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94, 57–64.
Doi: 10.1016/j.ijmactools.2015.04.006
- Debnath, K. Ve Singh, I. (2017). Low-frequency modulation-assisted drilling of carbon-epoxy composite laminates, *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 262–273.
Doi: 10.1016/j.jmapro.2016.12.009
- Dogrusadik, A. ve Kentli, A. (2017). Comparative assessment of support plates' influences on delamination damage in micro-drilling of CFRP laminates, *Composite Structures*, 173, 156–167.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2017.04.031
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M. ve Davim, J.P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced

- plastic composites, *Journal of Materials Processing*, 203, 431–438
Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.10.050
- Geier, N. ve Szalay, T. (2017). Optimisation of process parameters for the orbital and conventional drilling of uni-directional carbon fibre-reinforced polymers (UD-CFRP), *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 110, 319–334.
Doi: 10.1016/j.measurement.2017.07.007
- Kılıçkap, E., Yenigun, B. ve Çelik, Y.H. (2017). The Effect of Drilling Parameters on Strength of Glass Fibre-Epoxy Laminates By Produced Hand Lay-Up, *Engineering Sciences*, 12, 246–254.
Doi: 10.12739/NWSA.2017.12.4.1A0391
- Klotz, S., Lepold, A., Zanger, F. ve Schulze, V. (2017). Experimental Investigation of Clamping Systems and the Resulting Change of Cutting Conditions while Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics, *Procedia CIRP*, 62, 15–20.
Doi: 10.1016/j.procir.2016.06.089
- Lin, H.J. ve Tang, C.S. (1994). Fatigue strength of woven fabric composites with drilled and moulded-in holes, *Composites Science and Technology*, 52(4), 571–576.
Doi: 10.1016/0266-3538(94)90040-X
- Liu, D.F., Tang, Y.J. ve Cong, W.L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates, *Composite Structures*, 94,4, 1265–1279.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2011.11.024
- Montesano, J., Bougherara, H. ve Fawaz, Z. (2017). Influence of drilling and abrasive water jet induced damage on the performance of carbon fabric/epoxy plates with holes, *Composite Structures*, 163, 257–266.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2016.12.007
- Nasir, A.A. A., Azmi, A.I. ve Khalil, A.N.M. (2015). Parametric Study on the Residual Tensile Strength of Flax Natural Fibre Composites after Drilling Operation, *Procedia Manufacturing*, 2, 97–101.
Doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.017
- Panchagnula, K.K. ve Palaniyandi, K. (2017). Drilling on fiber reinforced polymer/nanopolymer composite laminates: a review, *Journal of Materials Research and Technology*, 7,2, 180–189.
Doi: 10.1016/j.jmrt.2017.06.003
- Pandit, G.D. (2017). Experimental Study of Residual Tensile Strength of Drilled Composite. *International Journal of Materials Science and Engineering*, 5(1), 35–46.

- Paoletti, A. (2003). The influence of drilling parameters and hole damage on GFRP composites fatigue strength, *Transactions on Engineering Sciences*, 40,273-282.
- Persson, E., Eriksson, I. ve Zackrisson, L. (1997). Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(2), 141–151.
Doi: 10.1016/S1359-835X(96)00106-6
- Priarone, P.C., Robiglio, M., Melentiev, R. ve Settineri, L. (2017). Diamond Drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymers: Influence of Tool Grit Size and Process Parameters on Workpiece Delamination, *Procedia CIRP*, 66, 181–186.
Doi:10.1016/j.procir.2017.03.296
- Saleem, M. (2010). Analytical and experimental investigation of the effects of the machining processes on the mechanical behaviour of carbon epoxy composite laminates, Ryerson University.
- Saoudi, J., Zitoune, R., Gururaja, S., Mezlini, S. ve Haggaji, A.A. (2016). Prediction of critical thrust force for exit-ply delamination during drilling composite laminates: thermo-mechanical analysis. International, *Journal of Machining and Machinability of Materials*, 18(1/2), 77.
Doi: 10.1504/IJMMM.2016.075464
- Singh, A.P., Sharma, M. ve Singh, I. (2013). A review of modeling and control during drilling of fiber reinforced plastic composites, *Composites Part B: Engineering*, 47, 118–125.
Doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.038
- Tao, C., Qiu, J., Yao, W. ve Ji, H. (2016). The effect of drilling-induced delamination on tensile strength and prediction of residual strength of carbon fiber-reinforced polymer laminate, *Journal of Composite Materials*, 50(24), 3373–3384.
Doi: 10.1177/0021998315620292
- Topkaya, T. ve Solmaz, M. Y. (2018). Investigation of low velocity impact behaviors of honeycomb sandwich composites, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(7), 3161–3167.
Doi: 10.1007/s12206-018-0619-5
- Turan, K., Kaman, M. O. ve Gur, M. (2015). Progressive failure analysis of laminated composite plates with two serial pinned joints, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 22, 839–849.
Doi: 10.1080/15376494.2012.761302

Determination of the influence of the machining parameters on the tensile load in CFRPs by analysis of variance

Extended abstract

Carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites are obtained by reinforcement carbon fibers into epoxy without chemical interaction and dissolution in order to have the desired mechanical property. Carbon fibers improve rigidity, strength, corrosion resistance, electrical resistance, tribological properties, weight, wear resistance of the materials.

Recently, the interest in the application of CFRP composites has started to increase in both industries and research areas. However, this situation has caused the problem of machining of CFRP. The most common method used in machining of CFRP composite is drilling. But some problems occur with the drilling of CFRP such as deformation, poor surface quality, and matrix burning. These problems cause the CFRP composite to be damaged more quickly or to become waste.

In this study, the effects of drilling conditions of CFRP composites having a 0/90 fiber orientation angle which was subjected to tensile loads were investigated. First, CFRP composites were drilled at spindle speeds of 1000, 3000 and 5000 rpm and feed rates of 0.05, 0.10 and 0.15 mm/rev with HSS (High Speed Steel), WC (Tungsten Carbide) and Brad Spur tool types. Then, the variance analyses (ANOVA) were applied to determinate the effects of drilling parameters, tool type and material on cutting force, deformation factor, surface roughness, and tensile load.

As a result of the study, it was seen that the most effective parameter on cutting force, surface roughness, deformation, and the tensile load was tool type. However, it was also determined that the optimum parameters were WC tool type, the feed rate with the value of 0.05 mm/rev and the spindle speed with the value of 5000 rpm. In addition, the tensile load of CFRP composite drilled with optimum parameters was 19% higher than the worst one.

Keywords: *Analysis of Variance; CFRP; Cutting Force; Deformation Factor; Surface roughness; Tensile load.*



CuO ve ZnO İçeren Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi

Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT*

ahmetdemirpolat@gmail.com ORCID: 0000-0003-2533-3381, Tel: (424) 248 4701 (10 hat)

Mehmet DAŞ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat
mehmet.das@gop.edu.tr ORCID: 0000-0002-4143-9226, Tel: (446) 711 21 00 (38014)

Geliş: 17.04.2019, Revizyon: 23.06.2019, Kabul Tarihi: 29.07.2019

Öz

Günlük yaşamsal döngü için gerekli bir faktör olan enerjiye talep sürekli olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu doğrultuda mevcut enerji dönüşüm sistemlerinin yeniden gözden geçirilip var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmektedir. Çalışmamızda, CuO ve ZnO nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak üretilen nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı iletim katsayıları (k) ve ısı taşınım katsayıları (h) belirlenmiştir. Reynolds sayısı 1600 civarında olan deneysel ölçümlerde saf suya göre ısı transferinde ZnO' da %16.5 ve CuO' da %13.3 değerinde ortalama iyileşme sağlanmıştır. Nanoakışkanların ısı transfer katsayılarının farklı pH değerleri ve Reynolds sayısı değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. CuO ve ZnO bazlı nanoakışkanların h değerleri için yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. Elde edilen modellerin doğruluk oranı karşılaştırılmıştır. ZnO bazlı nanoakışkanın tahminsel modeli CuO ya göre %40 daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, nanoakışkan, termofiziksel özellikler, yapay sinir ağı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Nanopartiküller nanoakışkan içerisindeki enerji taşınımını artırır. Bunun sebebi iki bakış açısıyla açıklanabilir. Birincisi süspansiyon edilen nanopartiküller akışkanın bileşimini değiştirir ve temel akışkanı süspansiyona dönüştürür. Bu nedenle enerji taşıma proseslerini etkilerler. İkincisi süspansiyon edilmiş partiküllerin rastgele hareketleridir. Nanopartiküllerle sıvı moleküller arasındaki ara yüzeysel etkileşim, akışkanın içinde enerji taşınımını artırır. Isı iletiminin yükselmesiyle beraber artan çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha fazla ısı transferine olanak sağlar (Şahin, 2010).

Isı transferini iyileştirmeye yardımcı olan nanopartiküllerin; nanoakışkanın karakteristiği üzerindeki etkisi, nanoakışkanların hazırlanmasının, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ve ısı transferi ölçüm tekniklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bunlardan ilki nanoakışkanın hazırlanması aşamasıdır. Nanoakışkanın hazırlanması için iki yöntem vardır. Birincisi tek adım metodu, ikincisi iki adım metodudur. Nanomalzemenin üretimi ve ana akışkan içerisinde dağılımıyla beraber gerçekleşen yöntem tek adım metodu denir. Bu metodu kullanarak daha homojen yapıda ve stabil durumda nanoakışkanlar üretilebilmektedir. İki adım metoduna göre topaklanma yüzdesi daha azdır. Tek adım metodu uygulama yönünden kısıtlı bir alana sahiptir. Nanopartikül üretim maliyetleri yüksektir ve kullanılacak malzeme cinsi çeşidi azdır. Nanoakışkan üretiminde en fazla tercih edilen yöntem İki adım metodudur. İlk olarak kimyasal veya fiziksel yöntemlerle nanopartiküller, nano fiberler, nanotüpler ve diğer nanomateryaller kuru toz halinde elde edilir. Bu nano boyuttaki partiküllerin su, temel akışkanı içinde dağılımı sağlanır. Nanoakışkan üretiminin yapılabilmesi için partiküllerin stabil duruma gelmesi ve homojen dağılımlı bir yapıya kavuşması gerekmektedir. Bu durumları elde edebilmek için partikülleri çeşitli işlemlere tabi tutmak gerekir; magnetik karıştırma, ultrasonik karıştırma, yüksek parçalayıcı karıştırma

teknikleri kullanılabilir. Nanopartiküller yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi sebebiyle topaklanma yönelimi gösterir. Bu nedenle stabiliteyi yükseltmek ve homojen yapıyı elde edebilmek için en ideal teknik yüzey aktif madde (süfaktif) kullanımıdır. Fakat süfaktifler yüksek sıcaklıklarda etkisini yitirebilmektedirler (Çifci, 2014).

Zhu ve diğerleri (2004) tek adım yöntemiyle $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ile topaklanmamış ve kararlı Cu nanoakışkanını elde etmişlerdir. % 0.3 hacimsel oranlı Cu ve etilen glikol ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 40 iyileşme Eastman ve diğerleri (2001) tarafından ölçülmüştür. Cahng ve Lo (2005), TiO_2 , CuO ve Cu gibi çeşitli nanopartikül içeren nanoakışkan üretebilmek için kullanılan bir diğer tek adım metodunun toz altı nanopartikül sentezinde kullanmışlardır. Bu yöntemle nanopartiküller, katının elektrottan alınan ısı ile ısıtılması sonucu üretilmekte ve sonrasında vakum odasında sıvı hale yoğunlaştırılmasıyla nanoakışkan üretilmiştir. Wen ve Ding (2004), γ - Al_2O_3 ile deiyonize su nanoakışkanını iki adım metoduyla hazırlarken dağıtıcı olarak sodyum dodikilbenzen sülfonat kullanmışlardır. Liu ve arkadaşları (2005), karbon nanotüp ve sentetik motor yağı ile farklı oranlarda nanoakışkanın kararlılığı için N-hidroksisüksinimid kullanarak ultrasonik titreşimlerle iki adım yöntemiyle hazırlamışlardır.

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ısı transfer uygulamaları için çok önemlidir. Termofiziksel özellikler farklı parametreler içerir. Bunlar; spesifik ısı kapasitesi, viskozite, ısı iletkenlik ve ısı transfer katsayısıdır. Nanoakışkanlar için en iyi ısı transferi, taşınım katsayısı ile analiz edilir (Kumar, 2005). Nanoakışkanların viskozitesi endüstriyel çalışmalarda boru içi akış rejini ve pompalama gücü bakımından belirleyici bir parametredir. Nanoakışkanın viskozite özelliği hakkında teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Tavman ve Turgut (2010), farklı hacimsel oran ve sıcaklıklarda SiO_2 - H_2O , TiO_2 - H_2O ve Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanlarının viskozitelerinin

değişimlerini incelemişlerdir. Artan hacimsel oran ile viskozitede de artış gözlemlenmiştir. TiO_2-H_2O nanoakışkanında artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığı, su ile benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Nguyen ve arkadaşları (2007), partikül boyutunun viskozite üzerindeki etkisini alüminyum-su nanoakışkanında çalışmışlardır. Çalışmalarında % 4'lük hacimsel oranda 36 ve 47 nm boyutlu partiküller için aynı sonuçlar elde etmişlerdir. Hacimsel oran arttıkça büyük boyutlu partiküllü akışkanın viskozitesinin küçük boyutlu olana göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Duangthongsuk ve Wongwises (2009), $TiO_2 - su$ nanoakışkanı için 15 – 53°C sıcaklık aralığında % 0.2 – 2.0'e artan hacimsel oranda, viskozitede % 4 – 15 artış tespit etmişlerdir.

Akışkanın ısı iletkenliği, ısı transferi performansını yükseltmede mühim bir değişkendir. Katı metaller, akışkanlara göre ısı iletkenlikleri daha yüksek olduğundan, nanopartikül olarak katıldığı akışkanın ısı iletkenliğini ve ısı transferi verimini yükseltmektedir (Şahin, 2010). Partiküllerin ve temel akışkanın ısı iletkenliği, nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkilemekte ve nanopartiküllerin akışkan içerisindeki hacimsel oranının artmasıyla beraber ısı iletkenlik yükselmektedir. Xie ve arkadaşları (2001), partikül boyutu 26 ile 600 nm arasında değişen, oksit olmayan seramik nanopartiküllü nanoakışkanı (SiC) ayrıca Xie ve diğerleri (2002), partikül boyutu 1.2 ile 302 nm arasında olan Al_2O_3 nanoakışkanı üreterek partikül boyutunun ısı iletkenliğe etkisini gözlemlenmiştir. Patel ve diğerleri (2010), farklı nanopartiküller (Al_2O_3 , CuO, Cu, Al), farklı temel akışkanlar (motor yağı, etilen glikol, su), farklı partikül boyutları (11, 31, 45, 80, 150 nm), farklı hacimsel oranlarda (%0.5, %1, %2, %3) ve farklı sıcaklıklarda (20, 30, 40, 50°C) yaptıkları deneylerde düşük hacimsel oranlarda lineer olmayan trendle beraber daha yüksek ısı iletkenlik elde etmişlerdir. Dolayısıyla sıcaklığın ısı iletkenlik üzerinde direkt olarak etkisi olmamakla beraber genel olarak artan bir eğilim trendinde olduğunu göstermektedir. Kang ve diğerleri (2006), 30 ve 50 nm çaplarında elmas

nanopartikülleriyle %1.2 hacimsel oranlı etilen glikolle hazırladıkları nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %75 artış gözlemlenmiştir. Duangthongsuk ve Wongwises (2010), yatay borudan akan TiO_2/Su nanoakışkanının türbülanslı akış rejimindeki sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısını tespit etmişlerdir. Isı transfer katsayısı % 1.0 hacim oranında suya göre % 26 daha fazla, aynı koşullarda % 2.0 hacim oranında temel akışkandan % 14 daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemede yapay sinir ağı (YSA) yöntemi giderek önem kazanmıştır. Deneysel veriler ile hesaplanan bu termofiziksel özellikler, YSA ile tahminsel modeller oluşturularak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Literatürde nanoakışkan özelliklerinin YSA ile tahminlenmesi ile alakalı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Uysal ve Korkmaz (2010), Dikdörtgen kesitli minikanalda Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının taşınımıyla ısı transferi ve entropi üretimi karakteristikleri sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısı 200 ile 2000 aralığında çalışmışlardır. Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının entropi üretiminin tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır. Kılıç ve diğerleri (2018), çalışmalarında nanoakışkanlar ve darbeli jetler kullanarak, ısıtılmış bir yüzeyden ısı transferinin ve akışkan akışının sayısal olarak araştırılmasını incelemişlerdir. Elde edilen değerler ile YSA'da tahminsel bir model oluşturmuşlardır. Afrand ve diğerleri (2016) çalışmalarında deneysel verileri kullanarak çok duvarlı karbon nanotüpler / su nano sıvısının viskozitesini optimal bir sinir ağı ile hesaplamışlardır. ANN, öngörücü modelde katı hacim kesir ve sıcaklık değerlerini girdi değişkenleri olarak ve viskozite değerlerini çıktı değişkenleri olarak kullanmışlardır. Modelin doğruluğu için MAPE ve MSE hata analizi kullanmışlardır. 0.28 MSE ve 0.910 MAPE hata analizi sonuçlarına göre başarılı bir model elde etmişlerdir. Karimi ve arkadaşları (2011), 8 farklı nano-akışkan viskozitesini tahmin etmek için genetik algoritmaya (GA) dayanan doğru ve etkili bir YSA kullanmışlardır. Sinir ağı parametrelerini optimize etmek için genetik

algoritma (GA) kullanmışlardır. Sonuçlar ayrıca GANN modelinin %39 doğruluk oranı ile nanoakışkanların viskozitesini öngörmede geleneksel sinir ağlarından daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Ansari ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada, geri besleme yayılımı YSA kullanarak çeşitli nanoakışkanların nispi viskozitesi için bir tahmin modeli geliştirmiştir. Kullandıkları tahminsel modelde, önerilen ağı eğitmek, test etmek ve doğrulamak için toplam 1620 deneysel veri kullanmışlardır. Geliştirdikleri ağın girdi değişkenleri olarak nano-akışkan sıcaklığını, kesme hızı değerlerini, nanoparçacık büyüklüğünü, parçacık yapısını (nanoparçacık yoğunluğu) ve parçacık yoğunluğunu seçmişlerdir. Sonuç olarak, önerdikleri ağı, genel ortalama kare hatası (MSE) 0.00901 olan viskoziteyi doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermişlerdir. Demirpolat ve Das, CuO bazlı nanoakışkan üreterek farklı pH değerlerinde nanoakışkanın viskozite değerlerini incelemişlerdir. Deneysel yöntemlerle hesapladıkları nanoakışkanın viskozite değerleri tahmini için YSA, ve karar ağacı (KA) algoritması kullanmışlardır. Kullandıkları YSA ve KA algoritmaları viskozite değerlerini başarılı bir şekilde tahmin etmiştir (Demirpolat, 2019). Bu çalışmada farklı nanopartiküller katılarak üretilen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Farklı Reynolds sayısı değerlerinde ve farklı pH değerlerinde hesaplanan termofiziksel özellikler incelenmiştir. Deneysel verilerle hesaplanan h değerleri için YSA kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan tahminsel modellerin doğruluğunu belirlemek için mean absolute error (MAE) ve root mean square error (RMSE) hata analizleri yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, farklı pH değerlerinde bir nanoakışkanın üretilmesinden sonra ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Tahmini ısı transfer katsayıları için YSA kullanılarak bir tahmine dayalı model geliştirilmiştir.

CuO ve ZnO nano partikül üretimi

Nanomaterial üretimi için maddenin çözünmeyen bir forma dönüştürülmesi veya maddenin içindeki çözünürlüğünün azaltılması için çözücünün bileşiminin değiştirilmesi metodu olan Kimyasal Karışım metodu kullanılmıştır (Suresh, 2013). ZnO ve CuO nanopartikül üretimi için malzemeler aşağıda verilen oranlarda hazırlanmıştır. ZnO ve CuO nanopartikül üretimi için kullanılan malzemeler ve kullanım ölçüleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Nanopartikül üretimi için kullanılan malzemeler

Malzeme	Ölçüsü	Üretimi için kullanılan Nano partikül
Çinko asetat (Zn (CH ₃ CO ₂))	4.39 gr (0.02 mol)	ZnO
Bakır asetat (Cu (CH ₃ CO ₂))	4.39 gr (0.02 mol)	CuO
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	100 ml	ZnO, CuO
Saf Su	200 ml	ZnO, CuO
Sodyum Hidroksit (NaOH)	8 gr (0.2 mol)	ZnO, CuO

ZnO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) çinko asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözündürülmüştür. Daha sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözündürülmüştür. Hazırlanan bu karışımlar birleştirilmiş ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml'lik beherlerle karışıma amonyak eklenmiş ve verilen pH oranları elde edilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökelmeye bırakılmıştır. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50°C' de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak 1 saat 450°C' de malzeme ısı işlem gördükten sonra nano malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. CuO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) bakır asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözündürülmüştür. Sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözündürülmüştür. Hazırlanan bu

karışımlar birleştirilmiş ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml lik beherlerle karışıma amonyak eklenmiş ve verilen pH oranları elde edilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökmeye bırakılmıştır. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50°C' de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak fırında 450°C' de 1 saat sürüyle malzeme ısıl işlem gördükten sonra nano malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

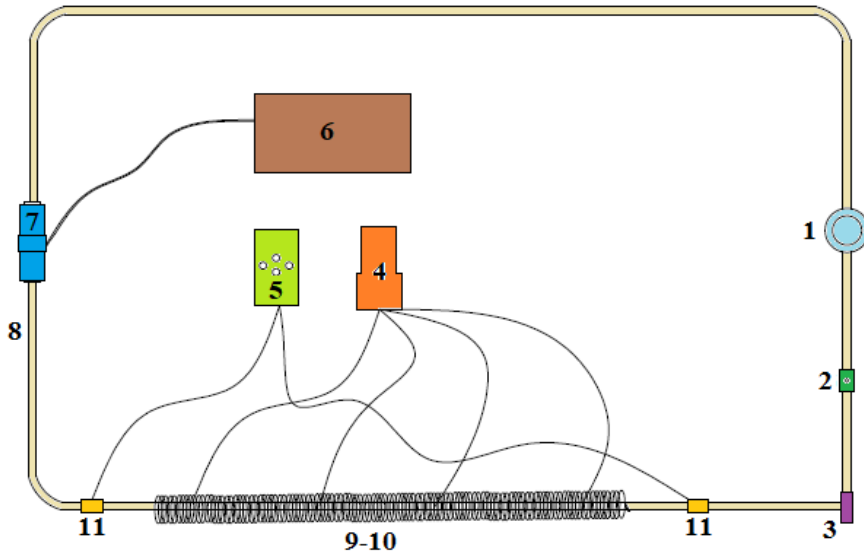
CuO ve ZnO bazlı nano akışkan üretimi

Nanoakışkan üretimi için , literatürde yaygın olarak kullanılan İki Adım metodu uygulanmıştır (Liu ve diğ., 2005).

Nanoakışkan üretimi için kullanılan malzemeler; %57.1 saf su, %28.6 etilen glikol ve %14.3 etanol karışımına üretilen nanomalzemelerden % 0.1 oranında katıldıktan sonra oluşan karışım 45 dakika ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra karışım 15 dakikada balıklı

karıştırıcıda karıştırılarak nanoakışkan elde edildi. Karışım deney düzeneğinde kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Üretilen nanoakışkanın yoğunluğu belirlendikten sonra pH ölçüm cihazında akışkanların pH' ları belirlenmiştir.

Deneyler öncelikle %100 saf su için yapılmıştır. Daha sonra %33.3 etilen glikol ve %66.7' si saf su olan karışım için deneyler tekrarlanmıştır. En son olarak etilen glikol-saf su karışımına nano partiküllerin katılması ile hazırlanan nanoakışkanlar için deneyler yapılmıştır. Tüm deneyler 846 ile 2292 arasında değişen 5 farklı Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Deneyimizde ısıl çiftler yardımıyla ve sürekli rejim şartlarında akışkanın 5 dakika aralıklarla giriş, çıkış sıcaklığı ve borunun 4 farklı noktasında yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ısıl çiftler, RISEPRO marka 4 kanallı K tipi ısıl çiftlerdir. Elde edilen bu verilerden nano akışkanların ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Isı transfer katsayısı hesabı için kullanılan deney düzeneği Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzeneği

1-Akışkan haznesi, 2-Debi ayar vanası, 3-Akışkan pompası, 4-Isıl çift ekranı, 5-Akışkan termometresi, 6-Elektronik debi ölçüm cihazı, 7- Debi ölçüm sensörü, 8- Plastik boru, 9- Isı bantlı, 10- Bakır boru 11- T Bağlantı

Şekil 1 de görüldüğü gibi akışkan haznesinde bulunan nanoakışkan debi ayar vanasıyla debisi ayarlandıktan sonra pompa yardımıyla ısı bantlı bakır boruya gönderilmiştir. Bakır borudan Laminar akışta geçen nanoakışkanın ısıl çiftler

yardımıyla borunun yüzeyindeki 4 ayrı noktadan sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Nanoakışkanın bakır boruya giriş ve çıkış sıcaklıkları akışkan termometresi yardımıyla ölçülmüştür. Nano

akışkanın debi ölçüm cihazı yardımı ile hacimsel debisi belirlenmiştir.

SEM Analizi

SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı malzemenin partikül boyutunu, iç yapısını ve morfolojik özelliklerini ayrıntılı bir şekilde inceleme olanağı sağlar. SEM analizine göre incelenen malzemenin boyutu 100 nm den daha küçük olması durumunda, incelenen malzeme nano malzeme olarak kabul edilir (Miller, 2004). Bu çalışmada kullanılan SEM cihazının modeli JEOL JSM-7001F dir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Gerek ayırım gücü, gerek odak derinliği, gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir (Gil vd., 2018).

Nanoakışkanlarda Isı Transferi

Sıcaklık farkının bulunduğu bütün ortamlarda ve ortamlar arasında ısı transferi muhakkak meydana gelir. Hareketsiz bir katı veya bir akışkanın bulunduğu ortam içinde, sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferi adlandırılırken, iletim terimi kullanılır. Bunun yanı sıra, bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında gerçekleşen ısı transferi, taşınım terimi olarak anılır. Sonlu sıcaklığa sahip bütün yüzeyler elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıktaki iki yüzey arasında, birbirlerini görmeye engel bir ortam bulunmuyorsa meydana gelen ısı alışverişine ışınım denir (Patel, 2018).

Eğer akışkan hareketi önemsizse, ortamdaki ışınım ısı transferi de ihmal edildiğinde yukarıdaki eşitlik geçerlidir. Eşitlikteki efektif ısıl iletkenliktir. Efektif ısıl iletkenlik ortamının gözenekliliği veya hacim fraksiyonu ile değişir. Bu özelliklerin yanı sıra katı ve sıvının ısıl iletkenliğine de bağlıdır. Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hem laminar hem de türbülanslı akış koşullarında nanoakışkanın ısı transfer katsayısındaki artışın ısıl iletkenlikten daha fazla olduğunu göstermiştir.

Taşınımın temel yasası Fourier'in iletim yasası teklif edilmeden önce Newton tarafından ilan edilmiştir ve Newton'un soğuma yasası olarak adlandırılmıştır.

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (1)$$

Burada Q duvarla hareketli sıvı arasındaki ısı transferidir. A ise katı-sıvı arasındaki ortak yüzey alanıdır. T_w yüzey sıcaklık ortalaması, T_f ise sıvının giriş ve çıkış sıcaklığı ortalamasıdır (Patel, 2018).

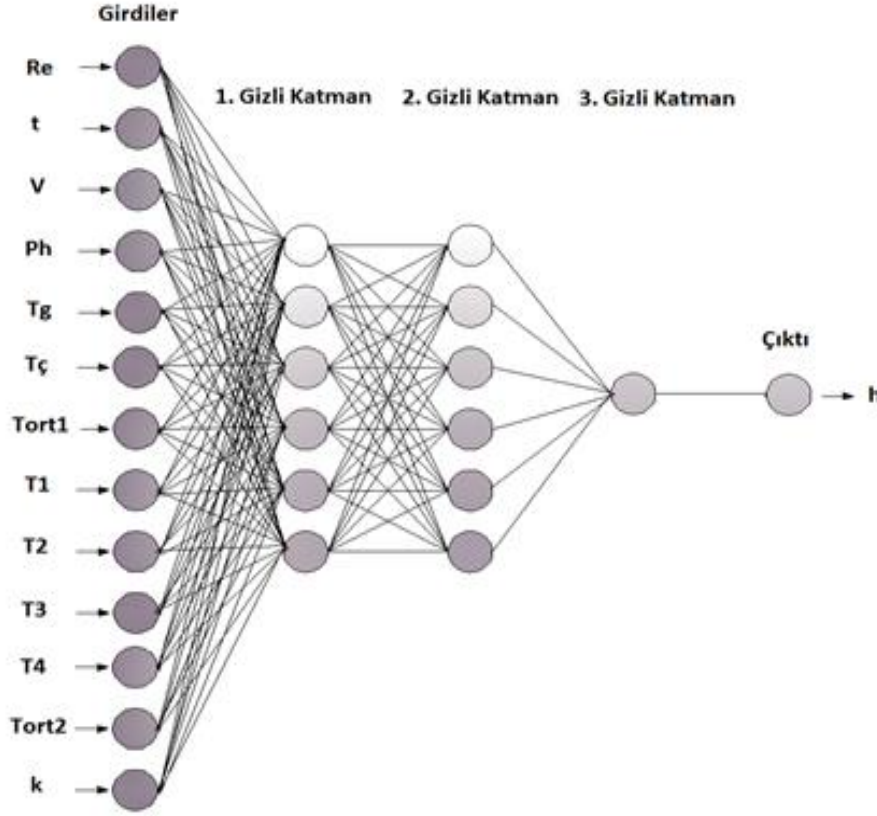
Dairesel borularda; Laminar akış ve sabit yüzey ısı akısının (q_s =sabit) olduğu tam gelişmiş akış durumlarında Nusselt sayısı bir sabittir; Reynolds veya Prandtl sayılarına bağlı değildir (Patel, 2018).

$$Nu = \frac{hD}{k} = 4.36 \quad (2)$$

Verilerin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır (Findik vd, 2010). Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır (Martin vd, 1991).

Sistemde, yapay sinir ağları on üç giriş ve bir çıkış olarak modellenmiştir. Deneylede kullanılan akışkana ait Reynolds sayısı (Re), süre (t), akışkan hızı (V), hidrojen gücü değeri (pH), akışkanın boruya giriş sıcaklığı (T_g), çıkış sıcaklığı (T_ç), giriş ve çıkış sıcaklığı ortalaması (T_{ort1}), boru yüzey sıcaklıkları (T_{1,2,3,4}), yüzey sıcaklıkları ortalaması (T_{ort2}) ve akışkanın ısı iletim katsayısı (k) giriş bilgisi olarak alınmıştır. Çıkış bilgisi olarak akışkanın ısı taşınım katsayısı (h) kullanılmıştır. Toplam olarak 5 katmandan oluşan modelin girdi katmanı 13 girdi için 13 nöron, birinci gizli katman 6 nöron, ikinci gizli katman 6 nöron, üçüncü gizli katman için 1 nöron ve çıktı katmanı ise sadece tek bir nöron içermektedir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. YSA model yapısı

Isı taşınım değerlerinin yapay sinir ağı ile modellenmesinde MATLAB 2016a yazılımı kullanılmıştır. Bilgi kümesinde 220 adet giriş ve çıkış bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgilerden 150 tanesi eğitim işleminde kullanılmıştır. 70 tanesi ise test işleminde kullanılmıştır.

YSA ile elde edilen tahminsel modelin doğruluğunu belirlemek MAE ve RMSE analizleri yapılmıştır. Hata analizleri Tablo 2.'de gösterilmiştir (Alic, 2019).

Tablo 2. Hata analizleri, formülleri ve parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
MAE	$\frac{ P_1 - A_1 + \dots + P_n - A_n }{n}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
RMSE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri

Isı taşınım katsayısı değerleri tahmini için kullanılan YSA modelinin parametreleri ve yapısı Tablo 3.'te gösterilmiştir.

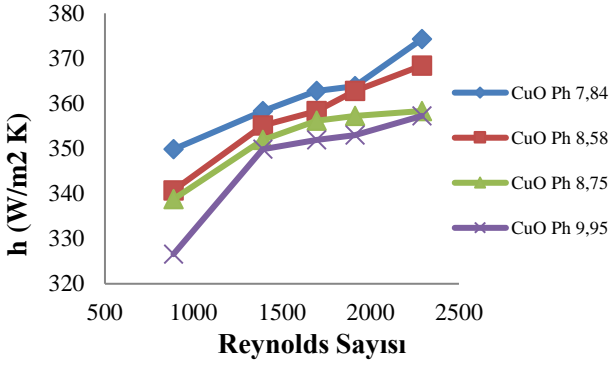
Tablo 3. YSA Yapısı ve Parametreleri

Gizli Katman Sayısı	3
Gizli Katmanlardaki Nöron Sayısı	6-6-1
Ağırlık Değerleri	Random
Aktivasyon Fonksiyonu	Logsig
Transfer Fonksiyonu	Tangent Sigmoid Transfer
Öğrenme Fonksiyonu	Feed-Forward Backpropagation

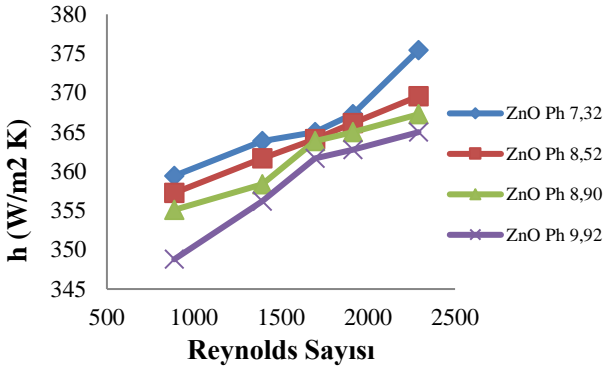
Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada üretilen nanomalzemeler kullanılarak elde edilen nanoakışkanlar için çeşitli pH lardaki CuO nanoakışkanlarının ısı transfer katsayısının, Reynolds sayısı 800 ile 2300 arasında arttığı görülmektedir. Şekil 3-4

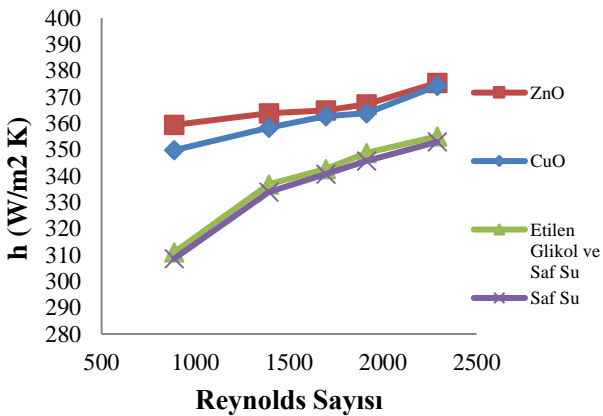
incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Nedeni ise nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH₃ ve %75'i su olduğundan akışkanın özgül ısısının CuO ve ZnO nanoakışkanların özgül ısısından daha düşük olmasıdır.



Şekil 3. CuO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



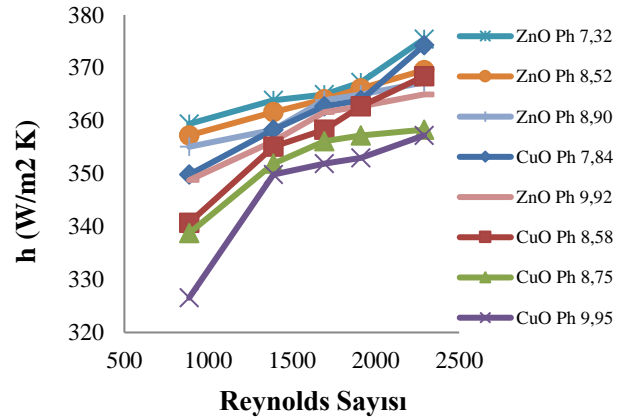
Şekil 4. ZnO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



Şekil 5. Akışkanların ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişiminin kıyaslanması

Şekil 5 incelendiğinde ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı 1600 civarında ZnO' da en yüksek olduğu daha sonra CuO geldiği görülmektedir. Saf suya göre ortalama ZnO' da %16.5 oranında CuO' de %13.3 oranında iyileşme görülmektedir.

Şekil 6 da ZnO ve CuO bazlı nano akışkanların farklı pH değerlerindeki ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6. ZnO ve CuO bazlı nanoakışkanların pH ve Reynolds sayılarına göre ısı transfer katsayılarının değişimi

Şekil 6'ya göre en yüksek ısı transfer katsayısı değeri ZnO bazlı nanoakışkanın 7.32 pH değerinde hesaplanmıştır.

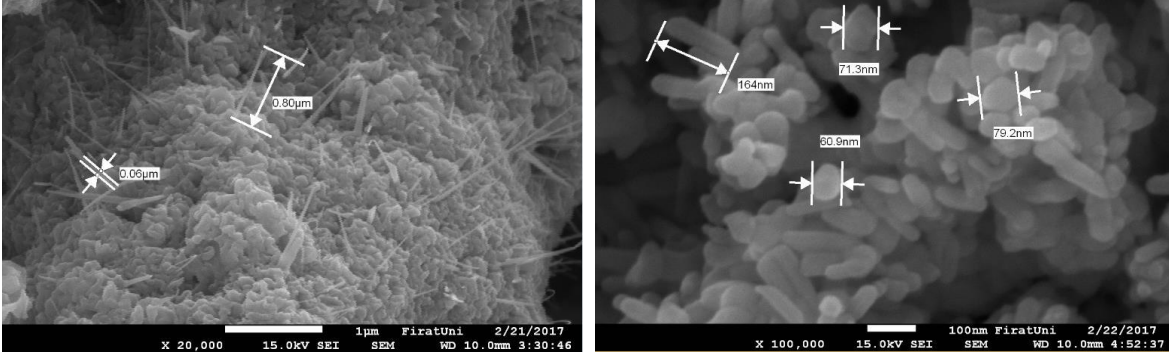
Tablo 4.' de CuO, ZnO ve Etilenglikol-Su nun sıcaklığa göre viskozite değişimleri verilmiştir. Bu değerler viskozite metre ile farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. Viskozite Değerleri

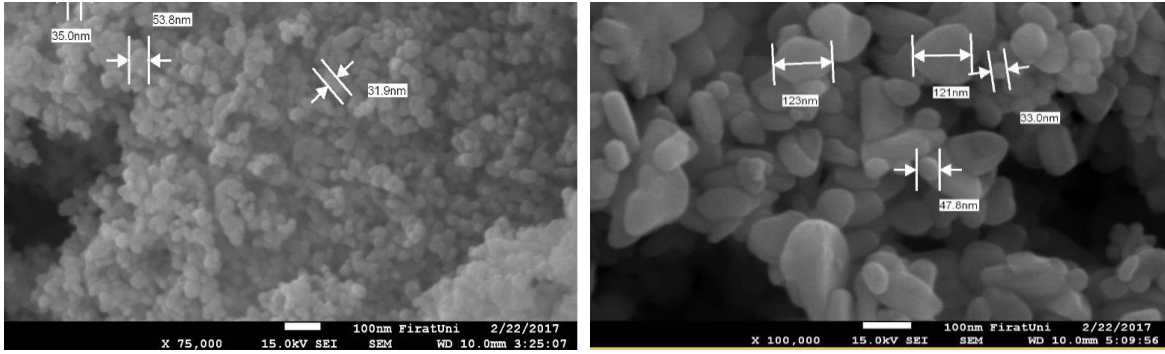
T (°C)	CuO (Ph8.75)	ZnO (Ph8.90)	%33 Etilenglikol + %67 Saf Su
20	0.0037	0.0033	0.0029
30	0.00305	0.00294	0.00245
40	0.00247	0.00225	0.00191
50	0.00206	0.00192	0.00161
60	0.00168	0.00152	0.00132

Malzemelerin SEM Görüntüleri

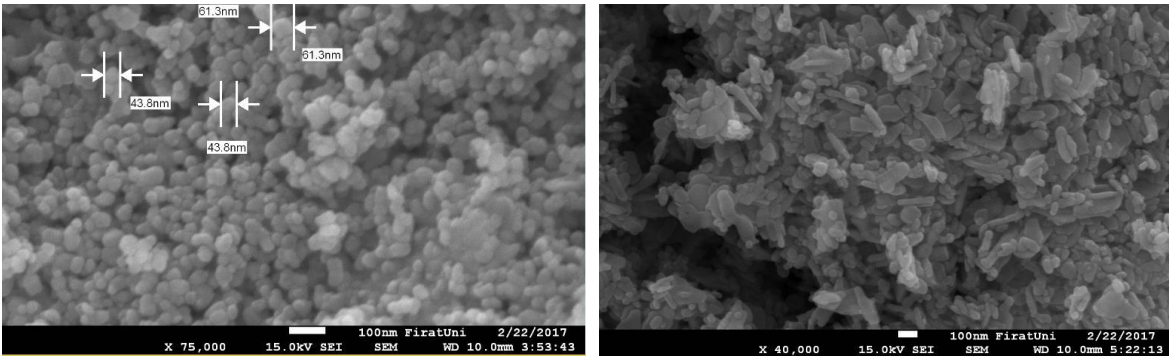
SEM görüntü cihazı ile görüntülenen farklı pH lardaki nano partikül görüntüleri sırasıyla Şekil 7-10 da gösterilmiştir.



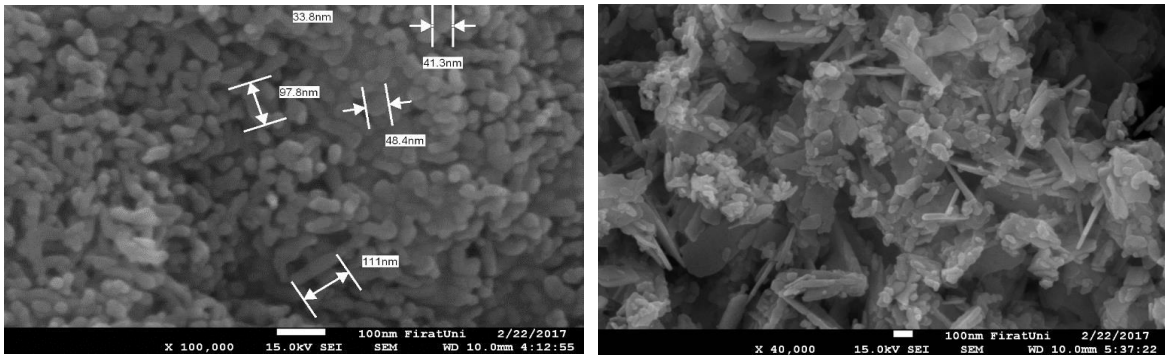
Şekil 7. CuO ve ZnO pH 7 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 8. CuO ve ZnO pH 10 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 9. CuO ve ZnO pH 12 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 10. CuO ve ZnO pH 14 nano partiküllerinin SEM görüntüleri

Şekil 7-10 daki SEM analiz görüntülerine göre çeşitli pH larda üretilen CuO ve ZnO nano partiküllerinin morfolojik yapıları ve boyutları incelendiğinde nano partiküllerin üretiminde başarılı olduğu görülmüştür.

Boyutları 100 nm'ye eşit veya daha az olan tozlar olarak tanımlanan nanoparçacıklar, nano ölçekli malzemelerin ve dolayısıyla nanoteknolojinin temelini oluşturur (Miller, 2004).

Farklı kristalit boyutuna sahip CuO ve ZnO nano-akışkanları (164, 60.9, 33,47.8, 121 ve 123 nm), farklı çözücü kullanılarak kimyasal yolla hazırlanmıştır. SEM görüntüsü, 164 nm kristalit boyutundaki parçacıkların çubuk şeklinde olduğunu, 60.9 nm kristalit boyutunun eliptik şekil parçacıkları olduğunu göstermektedir. 33 ve 47.8 nm büyüklüğünde parçacıklar neredeyse küresel topaklardır, oysa 121 ve 123 nm kristalit büyüklüğündeki parçacıklar hem küresel hem de uzun çubuk şeklindeki parçacıkların karışık şeklini gösterir. Morfolojideki değişiklik, CuO ve ZnO nanopartikülleri üretmek için reaksiyonda kullanılan solventlerin farklı reaksiyon hızlarından kaynaklanmaktadır (Kılıç, 2018).

Malzemelerimizin morfolojik yapısı, yani nano-akışkanları hazırlamak için ürettiğimiz nanoparçacıkların boyutu, nano-akışkanların ısı transferi, ısı iletimi, viskozite ve birçok termo fiziksel özellik üzerinde etkilidir. Ürettiğimiz CuO ve ZnO nanopartiküllerinin morfolojisindeki değişim, pH değerinden kaynaklanmaktadır. PH değeri arttığında, ısı transferi azalır ve pH değeri azaldığında yuvarlak taneler bir çubuk şekline dönüşür.

PH ve Reynolds değerlerine göre ZnO ve CuO içeren nanoakışkanların ısı transferindeki değişim Tablo 5-6.'da gösterilmektedir.

Tablo 5. CuO Nanoakışkanının Reynolds sayısına göre ısı transfer değerleri

Re	CuO	CuO	CuO	CuO
	7.84(pH)	8.58(pH)	8.75(pH)	9.95(pH)
	h	h	h	h
	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
887	349.821	340.722	338.764	326.565
1391	358.328	355.090	351.910	349.821
1695	362.738	358.328	356.163	351.910
1912	363.857	362.738	357.242	352.963
2290	374.253	368.406	358.328	357.242

Tablo 6. ZnO Nanoakışkanının Reynolds sayısına göre ısı transfer değerleri

Re	ZnO	ZnO	ZnO	ZnO
	7.32(pH)	8.52(pH)	8.90(pH)	9.92(pH)
	h	h	h	h
	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
885	359.420	357.241	355.089	348.786
1385	363.857	361.625	358.328	356.163
1614	364.983	364.082	363.857	361.625
1957	367.257	366.117	364.984	362.738
2240	375.445	369.561	367.258	364.984

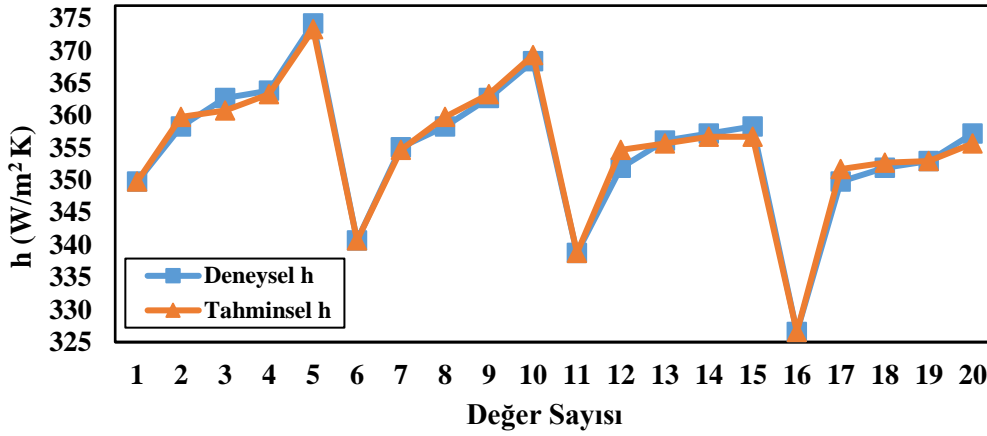
Tablo 5-6.'ya göre Reynolds değeri arttıkça ısı transferi artmış ve pH değeri arttıkça ısı transferi azalmıştır.

CuO ve ZnO nanoakışkanın h değerleri için oluşturulan YSA tahminsel model için hata analiz sonuçları Tablo 7.'de gösterilmiştir.

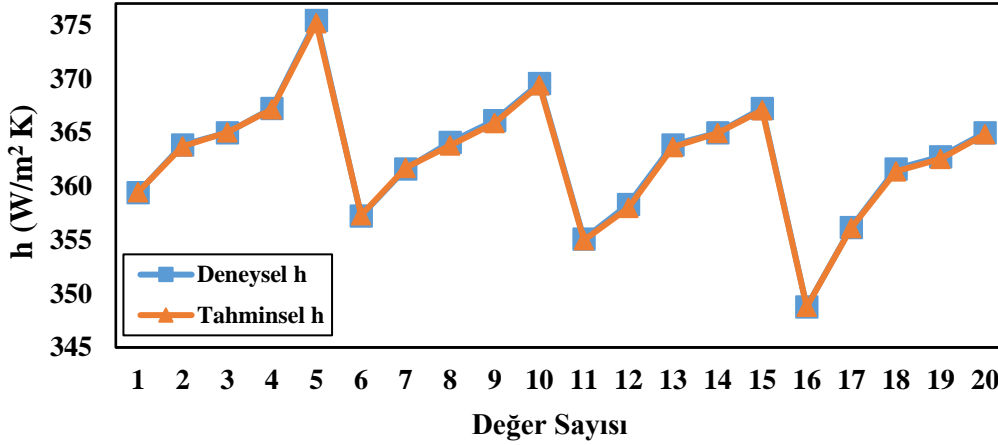
Tablo 7. YSA Hata Oranları

CuO	
MAE	0.3566
RMSE	0.4305
ZnO	
MAE	0.1463
RMSE	0.174

Şekil 11-12.'de deneysel ve tahminsel ısı taşınım katsayıları gösterilmiştir. Şekil 10.'a göre YSA algoritması kullanılarak tahmin edilen h değerleri, deneysel verilerle elde edilen h değerlerine yakındır. En iyi tahmin 16. değerde, en kötü tahmin ise 17. değerde gerçekleşmiştir.



Şekil 11. YSA kullanılarak elde edilen CuO nanoakışkanın tahminsel ve deneysel olarak elde edilen h değerleri



Şekil 12. YSA kullanılarak elde edilen ZnO nanoakışkanın tahminsel ve deneysel olarak elde edilen h değerleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, CuO ve ZnO nano partikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin SEM görüntü analizleri yapılarak nano partikül üretiminin başarılı olduğu Şekil 7-10 incelendiğinde görülmüştür. Üretilen Nano partiküllerle beraber Saf Su, Etanol ve Etilen Glikol malzemeleri kullanılarak üretilen nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek elde edilen değerlerle ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 5. ve 6.'da pH ve Reynolds değerleri değişimi ile ısı transfer katsayısı değişimi gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda ZnO içerikli nanoakışkanın pH değeri arttıkça ısı transferi %3.1 oranında

azalmıştır. CuO içerikli nanoakışkanın pH değeri arttıkça ısı transferi %6,6 oranında azalmıştır. YSA algoritması kullanılarak oluşturulan tahminsel modeli ile tahmin edilen h ve gerçekte ölçülen h değerleri Şekil 11-12'de görüldüğü gibi birbirine benzerlik göstermektedir. Nanoakışkanlara ait h değerleri tahminsel model için YSA'nın hata analiz sonuçlarına (Tablo 7) göre başarılı bir modelleme olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı termofiziksel özelliklere sahip nanoakışkanlar kullanılarak daha fazla veri elde edilebilir ve elde edilen bu veriler kullanılarak farklı hesapsal zeka yöntemleri yardımıyla daha az hatalı tahminsel modeller elde edilebilir.

Kaynaklar

- Afrand, M., Nadooshan, A. A., Hassani, M., Yarmand, H., Dahari, M., (2016). Predicting the viscosity of multi-walled carbon nanotubes/water nanofluid by developing an optimal artificial neural network based on experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 77, 49-53.
- Alic, E., Das, M., Kaska, O., (2019). Heat Flux Estimation at Pool Boiling Processes with Computational Intelligence Methods. *Processes*, 7, 293.
- Ansari, H. R., Zarei, M. J., Sabbaghi, S., and Keshavarz, P., (2018). A new comprehensive model for relative viscosity of various nanofluids using feed-forward back-propagation MLP neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, 158-164.
- Chang, H., Tsung, T. T., Chen, L. C., Yang, Y. C., Lin, H. M., Lin, C. K., Jwo, C. S., (2005). Nanoparticle Suspension Preparation Using the Arc Spray Nanoparticle Synthesis System Combined with Ultrasonic Vibration and Rotating Electrode, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 552–558.
- Çifci H., (2014). Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Demirpolat, A. B., Das, M., (2019). Prediction of Viscosity Values of Nanofluids at Different pH Values by Alternating Decision Tree and Multilayer Perceptron Methods. *Applied Sciences*, 9(7), 1288.
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S., (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime, *Int. J. Heat Mass Trans*, 53, 334-344.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J., (2001). Anomalous Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78, 718–720.
- Findik T., Taşdemir Ş. and Şahin. I., (2010). The use of artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders. *Sci. Research and Essays*, 5, 11, 1274-1283.
- Gil, E. et. al., (2018). XPS and SEM analysis of the surface of gas atomized powder precursor of ODS ferritic steels obtained through the STARS route, *Applied Surface Science*, vol. 427: pp.182-191.
- Kang H.U., Kim S.H., Oh J.M., (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume. *Exp Heat Transfer*, 19(3), 181–91.
- Karimi, H., Yousefi, F., and Rahimi, M. R., (2011). Correlation of viscosity in nanofluids using genetic algorithm-neural network (GA-NN). *Heat and mass transfer*. 47(11), 1417-1425.
- Kılıç, M., Yavuz, M., Yılmaz, İ. H., (2018). Numerical investigation of combined effect of nanofluids and impinging jets on heated surface. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(1), 14-19.
- Kumar, V., Tiwari, A. K., Ghosh, S. K., (2015). Application of nanofluids in plate heat exchanger: a review. *Energy conversion and management*, 105, 1017-1036.
- Liu, M., Lin, M., Huang, I., Wang, C., (2005). Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotube for nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1202–1210.
- Lo, C.-H., Tsung, T.-T., Chen, L.-C., Su, C.-H., Lin, H.-M., (2005). Fabrication of Copper Oxide Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Nanoparticle Research*, 7, 313–320.
- Lo, C.-H., Tsung, T.-T., and Chen, L.-C., (2005). Shaped-Cntrolled Synthesis of Cu-Based Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Crystal Growth*, 277, 636–642.
- Martin, K., McCarthy, G., (1991). North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA., ICDD Grant-in-Aid.
- Miller J. C., Serrato, R. J. M., (2004). Represas - Cardenas and G. Kundahl. *The Handbook of Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Nguyen, C.T., Desgranges F., Gilles R., Nicolas G., Thierry M., Boucher S., (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids—hysteresis phenomenon, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 28(6), 1492–1506.
- Patel, H. E., Sundararajan, T., Das S. K., (2010). An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12(3), 1015-1031.
- Patel, J., & Parekh, K., (2018). Effect of Size and Morphology on Stability and Thermal Conductivity of ZnO Nanofluid. *Journal of Nanofluids*, 7(2), 284-291.

- Suresh, R., Ponnuswamy, V., Mariappan, R., (2013). Effect of annealing temperature on the microstructural, optical and electrical properties of CeO₂ nanoparticles by chemical precipitation method. *Applied Surface Science*, 273, 457-464.
- Şahin, B., (2010). Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, TÜBİTAK Proje No: 105M292, Erzurum.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M., (2010). Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Tübitak, Proje No: 105M292.
- Tavman, I., Turgut, A., (2010). An investigation on thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids, *Microfluidics Based Microsystems NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*, 139-162.
- Uysal, C., Korkmaz, M. E., (2018). Estimation of entropy generation for Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel by using artificial neural network. *Politeknik Dergisi*, ISSN: 2147-9429.
- Weerapun, D., Somchai, W., (2009). Measurement of temperaturedependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂ water nanofluids, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 33(4), 706–714.
- Wen, D., Ding, Y., (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 5181–5188.
- Xie H, Wang J, Xi T, Liu Y., (2001). Study on the thermal conductivity of SiC nanofluids. *J Chin Ceram Soc*, 29(4), 361–364.
- Xie H.Q., Wang J.C., Xi T.G., Liu Y., Ai F., Wu Q.R., (2002). Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *J Appl Phys*, 91, 4568–4572.
- Zhu, H., Lin, Y., Yin, Y., (2004). A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids, *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 100–103.

Determination of Thermophysical Properties of Nanofluids containing CuO and ZnO and Modeling with Artificial Neural Network

Extended Abstract

While the demand for energy, which is a necessary factor for the daily vital cycle, is constantly increasing, energy resources are rapidly exhausted. In this respect, it is of great importance to revise existing energy conversion systems and to develop new methods in order to benefit from the limited energy resources. Nowadays it is important to use the energy more efficiently by increasing the heat transfer in the in-pipe flows.

Nanoparticles increase the energy transport in the nanofluids. This can be explained by two points of view. First, the suspended nanoparticles change the composition of the fluid and convert the basic fluid into suspension. Therefore, they affect the energy transport processes. The latter are random movements of suspended particles. The interfacial interaction between the nanoparticles and the liquid molecules increases the energy transport in the fluid. Increased turbulence and large surface area allow for more heat transfer with increased heat conduction.

Nanoparticles that help improve heat transfer; It is very important to know the effect of nanofluids on the characteristics of nanofluids, the preparation of nanofluids, the thermophysical properties of nanofluids and heat transfer measurement techniques.

The thermophysical properties of nanofluids are very important for heat transfer applications. The thermophysical properties contain different parameters. These; specific heat capacity, viscosity, thermal conductivity and heat transfer coefficient.

Artificial neural network (ANN) method has become increasingly important in determining the thermophysical properties of nanofluids. These thermophysical properties, which are calculated by experimental data, can be easily determined by creating predictive models with ANN.

In this study, thermophysical properties of nanofluids produced by different nanoparticles were compared. The thermophysical properties calculated at different Reynolds number and different pH values were investigated. Estimated models were created by using ANN for experimentally calculated h values. Mean absolute error (MAE) and root mean square error

(RMSE) error analyzes were performed to determine the accuracy of the predicted models.

As a result, the heat transfer coefficients were calculated by using the nanoparticles produced by using Pure Water, Ethanol and Ethylene Glycol materials together with the produced nanoparticles. Table 4 and 5 show the change of pH and Reynolds values with the change of heat transfer coefficient. As the Reynolds number increased in accordance with the calculations, the heat transfer coefficient of nanofluids increased. It has been observed that the heat transfer coefficient of nanofluids decreases when pH values are increased.

Table 4. Heat transfer values of CuO Nanofluids according to Re and pH number

Re	CuO	CuO	CuO	CuO
	7.84(pH)	8.58(pH)	8.75(pH)	9.95(pH)
	h	h	h	h
	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
887	349.821	340.722	338.764	326.565
1391	358.328	355.090	351.910	349.821
1695	362.738	358.328	356.163	351.910
1912	363.857	362.738	357.242	352.963
2290	374.253	368.406	358.328	357.242

Table 5. Heat transfer values of ZnO Nanofluids according to Re and pH number

Re	ZnO	ZnO	ZnO	ZnO
	7.32(pH)	8.52(pH)	8.90(pH)	9.92(pH)
	h	h	h	h
	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
885	359.420	357.241	355.089	348.786
1385	363.857	361.625	358.328	356.163
1614	364.983	364.082	363.857	361.625
1957	367.257	366.117	364.984	362.738
2240	375.445	369.561	367.258	364.984

In the experimental measurements with the Reynolds number around 1600, the average heat transfer was 16.5% in ZnO and 13.3% in CuO compared to pure water. The relationship between different pH values and Reynolds number values of heat transfer coefficients of nanofluids were shown. For h values of CuO and ZnO based nanofluids, predictive models were created by using artificial neural network. The accuracy rate of the obtained models was compared. The predictive model of CuO-based nanofluids was shown to be 40% more successful than ZnO.

Keywords: Nanoparticle, nanofluids, thermophysical properties, artificial neural network



A Benchmark Study for Phase Transformation of Shape Memory Alloy Based Split Ring Resonator Structure Under a Heating and Cooling Thermal Cycle

Mehmet Mete OZTURK*

Eskişehir Technical University, Transportation Vocational School, Eskişehir
ozturkmmete@gmail.com ORCID: 0000-0003-4743-5549, Tel: (222) 335 05 80 (5140)

Bahadır DOĞAN

Eskişehir Osmangazi University, Mechanical Engineering Department, Eskişehir
bdogan@ogu.edu.tr ORCID: 0000-0003-4648-1375

Geliş: 09.05.2019, Revizyon: 02.07.2019, Kabul Tarihi: 05.09.2019

Abstract

In this benchmark study, the integration of shape memory alloy thin film on to a split ring resonator is investigated. Split ring resonators are artificially produced structures which are used to generate magnetic response. One of the applications that can be met in the literature is the solar panel ones where they are benefitted for the electric generation from the resonance of it. Unfortunately, this application is very sensitive to the shape, geometry and dimensions which can be affected from ambient conditions easily. At this particular stage, to compensate the dimensional inconsistencies by shape memory alloy thin film is chosen in an ongoing project. Due to the nature of the shape memory alloy, not only the material properties but also the geometry of the structure can also change. By taking the advantage of this unique feature, the applicability of coupling shape memory alloy thin film by split ring resonator is investigated. And as an initial step of this research, the phase transformation of shape memory alloy thin film is investigated with regard to varying ambient conditions which are simulated by the change of convection conditions and exposure time. The temperature evolution of two significant point is tracked under these conditions and furthermore the change of martensite volume fraction is examined which will enlighten the path for the further steps on this investigation.

Keywords: Shape memory alloy, split ring resonator, phase transformation, volume fraction

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Introduction

A split-ring resonator (SRR) is an artificially produced structure which is commonly used to produce the desired magnetic response that can reach up to 200 terahertz with varying metamaterial types. This artificial structure is widely preferred when it is not possible to provide with conventional materials. There are different resonators such as split ring resonator (SRR), spiral resonator (SR), omega and fractal resonator which exhibit metamaterial characteristics (Karthikeyan and Arulvani (2010); Cetin et al. (2012)). These are widely used in different microwave applications because of their sub wavelength metallo-dielectric property that have strong resonance behavior. A cell of SRR has a pair of enclosed loops which can have different shapes such as rectangles or circles, with openings in them at opposite ends (Fig. 1) where the loops are made of nonmagnetic metal with a space between them. The shape, size and spacing of the loop vary depending on the requirement.

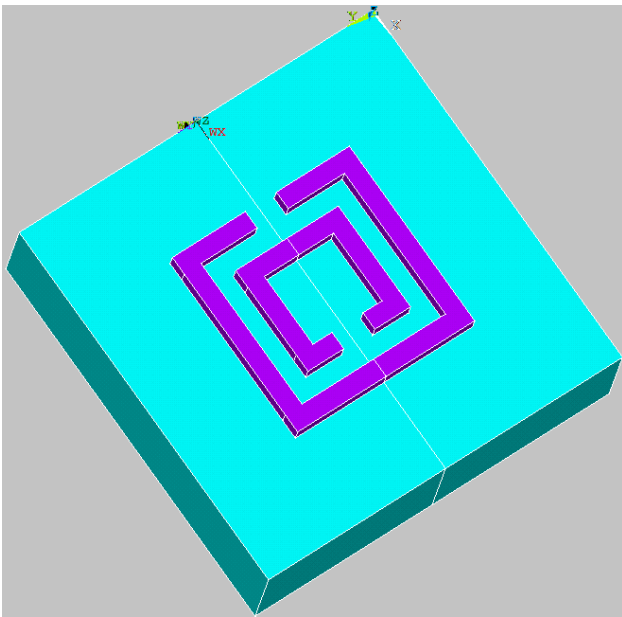


Figure 1. Split Ring Resonator geometry

In literature, researchers have investigated SRR models with different geometries and sizes. Karthikeyan and Arulvani (2010) presented open split ring resonator (OSRR) which is a modified geometry of a split ring resonator that

has negative permeability. They reported that by this structure, same frequency could be provided by a smaller resonator instead of the conventional ones.

An interdigitated split-ring resonator (ISRR) is the negative indexed resonator over in a narrow range frequency. Sohn et al. (2011) demonstrated the applicability of linear frequency response for their proposed a geometry for small planar resonators at low range of frequency. An experimental study is reported by Varadan and Ji (2010) to observe the shift in resonance frequency by a gradually increasing environmental temperature. They noted the downward shift of the resonance frequency with increasing temperatures. Cheng et al. (2010) designed, simulated and tested a tunable SRR based antenna that accomplishes better tunability and reduce the size more than conventional ones.

One other resonator application bases on metallic nanostructures gets attention in last years. Cetin et al. (2012) presented a plasmonic multiband metamaterial by using UT shaped nanoparticles. Hosseini and Massoud (2007) presented a rectangular metal-insulator-metal based on nanoscale plasmonic resonator which is designed in rectangular shape and within the spectral range of 270 nm. Okamoto et al. (2013) investigated the effect of the space between the two plasmonic racetracks of the resonator on the quality factor. On the other side, the shape memory alloys (SMA's) are the metal alloys which can return to their original shape by an external stimulus such as thermal or magnetic field applied on it and widely used for the fabrication of micro-actuators and micro-sensors. This unique feature is bases on the shape memory effect which is a solid-solid phase transformation takes place between a high temperature phase of austenite and a low temperature phase of martensite. The phase transformation usually accompanied by a temperature dependent change in material properties such as the thermal conductivity, electrical resistivity and heat capacity (Amalraj et al. (2000)). Although a wide range of materials with different maximum recoverable strains and thermomechanical properties are available, the

commercially available NiTi alloy is very popular due to its large range of recoverable deformations and its relative ease of processing. In literature it has been used for several applications including, micro-pumps, micro-grippers, micro-valves etc. (Makino et al. (2001); Kohl et al. (2000); Lee et al. (1996); Reynaerts et al. (1997); Wang et al. (2002)). Kohl et al. (2000) reported a micro-valve with 100 μm thick membrane which is made of Ti-Ni-Pd to activate the micro device. Another micro-pump was developed by Makino et al. (2001) and was composed of 6 μm thick SMA thin film deposited on a Si wafer and trained for a flat shape. Another study on valveless micro-pumps is the one designed by Lee et al. (39) and processed by deep reactive ion etching (DRIE) in silicon. Reynaerts et al. (1997) designed a drug delivery system using micro-valve made from SMA to reduce the injection of the patients with 5 μl dose control. In another work, Wang et al. (2002) reported micro-tweezers that uses the residual stress in TiNi film. Kaya (2017) investigated the effects of cooling rate after an aging process on the shape memory behavior and mechanical properties of Ti-54at.%Ni alloys. Ege et al. (2016) analyzed the displacement, velocity, time, force physical effects of SMA springs under different operating conditions.

The SRR's electromagnetic response is depended on, not only the electrical properties of the thin film but also its geometrical dimensions. Any change in the electrical properties and/or geometrical dimensions will impact the electromagnetic response. Any minor change on the dimension of the SRR will have a big impact on the performance of the resonators. So the ambient that the SRR's used in, is very critical for the sake of the performance of the system. If the SRR's are exposed to the direct sunlight such as in solar panel applications, it is open to the temperature fluctuations during the day which inclines to performance variation as a result of this dimensional change. At this stage, taking the advantage of the shape memory alloy's temperature dependent phase transformation is suggested by the researchers which can be used as absorbent of the negative impacts of the

temperature change on the SRR's caused by the sunlight during the operation of the devices.

As mentioned earlier, the basic feature of the SMA's is the temperature based transformation of the alloys which is accompanied by a change in the dimensions of the thin film as well. Thus the use of an SMA thin film which can accompany to SRR as a base layer can lead to a tunable resonator. Due to strong thermomechanical coupling in the phase transformation of these materials, knowledge of thermal field is necessary. In this particular study, the thermal behavior of SMA thin film in SRR geometry is studied under convection boundary condition as the simulation of the ambient condition in the course of a heating and cooling cycle during the exposure time. The ultimate purpose is to provide some preliminary outcomes in order to observe the phase transformation by revealing impact on it in this benchmark investigation.

Boundary value problem for SMA based SRR model

The Dimensional Problem of the SMA based SRR

The SRR structure simulated in this particular work bases on the geometry of the one cell of the SRR which is developed by Varadan and Ji (2010) which could be seen in Fig. 2. In order to simplify the calculation, the half of the developed geometry is considered and modeled (Fig. 2). The dimensions of the SRR model are taken as $v = 17\mu\text{m}$, $s=0.3\text{ mm}$, $w=0.25\text{ mm}$ and $l = 2.62\text{ mm}$ as regard to the real dimensions of the designed resonator. The theory of the model begins with the energy conservation of it, which is given below,

$$\vec{\nabla}(k(\xi)\vec{\nabla}T) + \rho(\xi)J^2 = C_v(\xi)\frac{\partial T}{\partial t} - Hp(\xi)\frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

where $\vec{\nabla}$ is the del operator, $k(\xi)$ is the thermal conductivity, $\rho(\xi)$ is the electrical resistivity and $C_v(\xi)$ is the heat capacity of the SMA thin film which are all temperature dependent. The

parameter on the right, $H_p(\xi)$, is the latent heat which is depended on the temperature evolution, besides ‘ H ’ is the net latent heat per unit volume.

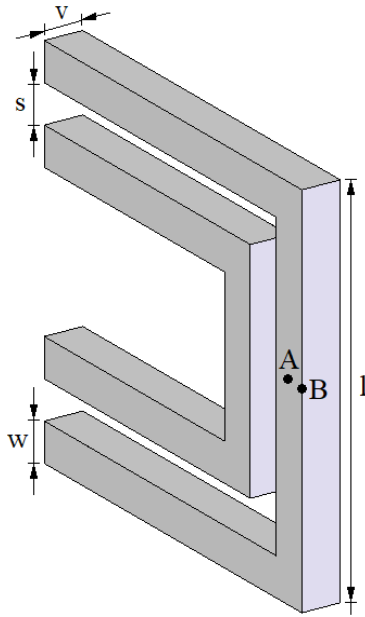


Figure 2. The schematic of the SMA based SRR model used in the study developed by considering the symmetric feature of the structure.

The material parameters for the SMA thin film which can be written with regard to phase transformation,

$$\begin{aligned}
 k(\xi) &= k_{Aus} + \xi(k_{Mar} - k_{Aus}), \\
 \rho(\xi) &= \rho_{Aus} + \xi(\rho_{Mar} - \rho_{Aus}), \\
 C_v(\xi) &= C_{v,Aus} + \xi(C_{v,Mar} - C_{v,Aus}), \\
 p(\xi) &= \frac{\partial \xi}{\partial T}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

where the phases austenite and martensite are shown by the subscripts ‘ Aus ’ and ‘ Mar ’, respectively. The symbol, ξ , which appears in the Eq. 1 and Eq. 2 refers to the martensite volume fraction which ranges between zero and one. When martensite volume fraction equals to 1 it corresponds to the phase where it is completely martensite and the exact opposite is true when it is equals to 0. The evolution of the volume fraction can be defined by a simple sigmoidal function which is given below,

$$\begin{aligned}
 \xi(T) &= 1 - \frac{1}{1 + e^{-[T-(A_s+A_f)/2]/T_0}} \\
 \xi < 0 &, \quad A_s \leq T \leq A_f \\
 \xi(T) &= 1 - \frac{1}{1 + e^{-[T-(M_s+M_f)/2]/T_0}} \\
 \xi > 0 &, \quad M_s \leq T \leq M_f
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

where A_s , A_f , M_s and M_f are the temperatures which refers to austenite start, austenite finish , martensite start and martensite finish respectively, and ξ indicates the evolution of the martensite volume fraction with respect to time. Eq. 2 can be rewritten by considering Eq. 3 as in the following,

$$p(T) = -\xi(1 - \xi)
 \tag{4}$$

The surface of the NiTi SMA based SRR is exposed to a convective boundary condition which is defined below

$$-k\bar{\nabla}T \cdot \hat{n} = hT - T_0(-k\bar{\nabla}T) \cdot \hat{n} = h(T - T_0)
 \tag{5}$$

where ‘ h ’ is the convection coefficient and T_0 is the ambient temperature . At $\bar{z} = 0$ (the bottom surface of the SMA based SRR model), there is an adiabatic condition

$$\bar{q} \cdot \hat{n} = 0
 \tag{6}$$

The Non-Dimensional Problem of the SMA based SRR

In order to simplify the problem during the calculations and have a better perspective at the end of the runs by providing more generalized outcomes, the governing equations and the boundary conditions are rewritten in non-dimensional form as in the following. It is worth to note that, the non-dimensional quantities are indicated with an overbar. The non-dimensional temperature field and non-dimensional length dimensions associated with the SRR model are given below,

$$\bar{T} = \frac{T - T_0}{T_0}, \quad \bar{v} = 1, \quad \bar{s} = \frac{s}{v}$$

$$\bar{w} = \frac{w}{v} \quad , \quad \bar{l} = \frac{l}{v} \quad (7)$$

where length dimensions are non-dimensionalized with respect to the thickness, v . The governing equation is nondimensionalized as in the following,

$$\vec{\nabla}(\bar{k}(\xi)\vec{\nabla}\bar{T}) + \bar{\rho}(\xi)\bar{J}^2 = \bar{C}_v(\xi)\frac{\partial\bar{T}}{\partial\bar{t}} - \bar{H}\bar{p}(\xi)\frac{\partial\bar{T}}{\partial\bar{t}} \quad (8)$$

The material properties of the martensitic form of the NiTi SMA is benefited during non-dimensionalization, the obtained parameters are given below,

$$\begin{aligned} \bar{t} &= \frac{k_{Mar}}{L_{max}^2 C_{v,M}} t \quad , \quad \bar{J}^2 = \frac{\rho_{Mar} L_{max}^2}{T_0 k_{Mar}} J^2 \\ \bar{H} &= \frac{1}{C_{v,Mar} T_0} H \quad , \quad \bar{h} = \frac{L_{max}}{k_{Mar}} h \end{aligned} \quad (9)$$

In the same manner, the non-dimensional parameters are defined below

$$\begin{aligned} \bar{k}(\xi) &= \frac{k_{Aus} + \xi(k_{Mar} - k_{Aus})}{k_{Mar}} \\ \bar{\rho}(\xi) &= \frac{\rho_{Aus} + \xi(\rho_{Mar} - \rho_{Aus})}{\rho_{Mar}} \\ \bar{C}_v(\bar{\xi}) &= \frac{C_{v,Aus} + \xi(C_{v,Mar} - C_{v,Aus})}{C_{v,Mar}} \\ \bar{p}(\xi) &= p(T)T_0 \end{aligned} \quad (10)$$

The equations regarding the volume fraction (Eq. 3-6) can be rewritten by considering the non-dimensional parameters as in the following,

$$\begin{aligned} \xi(\bar{T}) &= 1 - \frac{1}{1 + e^{-[\bar{T} - (\bar{A}_s + \bar{A}_f)/2]}} \\ \xi < 0 \quad , \quad \bar{A}_s \leq \bar{T} \leq \bar{A}_f \\ \xi(\bar{T}) &= 1 - \frac{1}{1 + e^{-[\bar{T} - (\bar{M}_s + \bar{M}_f)/2]}} \\ \xi > 0 \quad , \quad \bar{M}_s \leq \bar{T} \leq \bar{M}_f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (-\bar{k}\vec{\nabla}\bar{T}) \cdot \hat{n} &= \bar{h}\bar{T} \\ \vec{q} \cdot \hat{n} &= 0 \quad or \quad \bar{T} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Material properties and non-dimensional parameters used in the study

In ideal cases, it would be the best to use the accurate material properties of the austenite and martensite of thin film investigated in the study. But it is very challenging to identify these properties for thin films and unfortunately, an accurate determination for all the necessary features such as – mechanical and electrical - is not available, for this particular work. So the findings from the communication of Amalraj et al. (2000), which is about the material properties of shape Memory Alloy, are benefited during the calculations. In the mentioned work, the material properties are reported for NiTi wires for austenite and martensite individually such as;

- Thermal conductivity: $k_{Aus} = 28 \text{ W/(mK)}$,
 $k_{Mar} = 14 \text{ W/(mK)}$
- Electrical resistivity: $\rho_{Aus} = 8.371 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{mm}^{-1}$,
 $\rho_{Mar} = 9.603 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{mm}^{-1}$
- Heat capacity: $C_{v,Aus} = 5.92 \times 10^6 \text{ J/(Km}^3)$,
 $C_{v,Mar} = 4.50 \times 10^6 \text{ J/(Km}^3)$

In the same study martensite start and finish temperatures, austenite start and finish temperatures are reported as $M_s=333 \text{ K}$, $M_f=323 \text{ K}$, $A_s=345 \text{ K}$ and $A_f=355 \text{ K}$, respectively which are listed in Table 1.

The ambient temperature is assumed as $T_o=293 \text{ K}$. The dimensional convection coefficient used in the study is $2 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ due to the nature of the small surface area investigated in the work. The non-dimensional form of this coefficient is obtained as 2.42 with regard to the normalization path described in previous section.

Table 1. Phase transformation temperatures

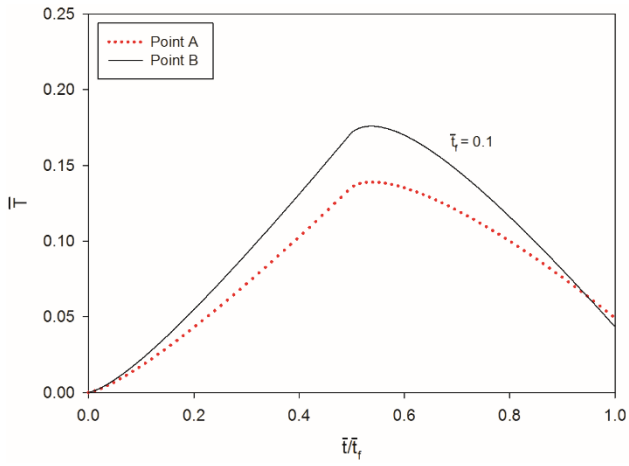
Phase Transformation	Temperature (K)
M_s	333
M_f	323
A_s	345
A_f	355

Results and Discussion

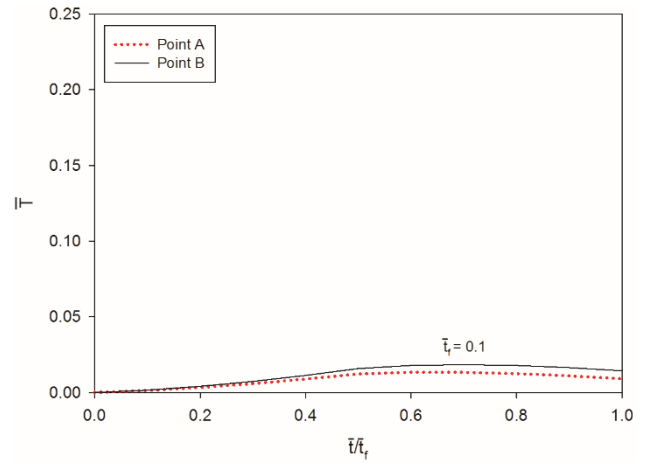
The results are generated by finite element software ABAQUS with the implementation of a subroutine UMATHT in order to control the change in material properties due to temperature variation during analysis. The material properties used in the analysis are explained in the previous section. The dimensions and material properties used during the calculations are explained in detail in section 2. In this particular work, the evolution of the SMA based SRR structure's phase transformation is examined under convection boundary condition as the basic simulation approach of the heating of the SRR structure by sun. Since the ultimate goal is to provide preliminary information for an ongoing project about where and how the SMA based SRR structure transforms under determined ambient conditions, two heat transfer coefficients ($h=2.42$ and 0.242) and three different exposure times ($\bar{t}_f=0.1, 10$ and 100) are considered. Under the given conditions, transformation response of the SMA based SRR structure is observed whether the structure transforms uniformly under poor weather conditions. The SMA based SRR is exposed to convection which would act like the heat source and heat sink of the model during the exposure time as the representative of the ambient conditions in real applications. Different convection conditions are studied, to see the impact of it on the thermal response and phase transition of SMA based SRR where the non-dimensional temperature is kept as 0.21 which marginally above the austenite finish temperature of the shape memory alloy. The temperature evolution for $\bar{h}=2.42$ is presented in Fig. 3a-3c for three different exposure times where the half of the considered period pertains to heating while the remaining half pertains to cooling. The temperature evolution is presented for two different points, Point A and Point B, which are chosen to present the evolution on the highest temperature region (edge of the structure) and lowest temperature region (mid part of the surface). Since the exposure times are different in each case, temperature evolution is given for normalized times scaled with respect to total

exposure time, \bar{t}_f , which has been taken as $0.1, 10$ and 100 respectively.

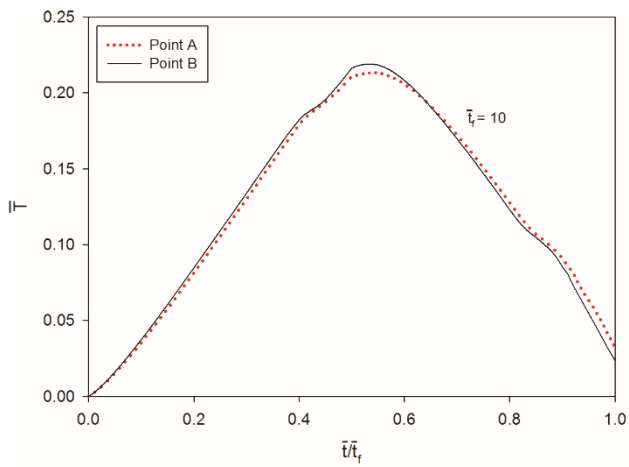
As it is seen from the figures, for the shorter period of time (Fig. 3a) even though the temperatures at the points weren't able to attain to reach the transformation temperature, the temperatures for either point rises by regarding the increment on the boundary condition, in addition the difference between the point A & B tells the entire structure's temperature couldn't be uniform in such that short application times. As the exposure time increases (Fig. 3b) the SRR model achieves to reach to transformation temperatures and along with the longer period the uniformity of the temperature distribution gets better and during the longest exposure time a linear smooth evolution is observed and it can be noted that, the temperature distribution occurs uniformly since the difference between the two points is marginal. The temperature evolution for $\bar{h}=0.242857$ –an order magnitude lower- is presented in Fig. 4a-4c for three different exposure times as well, where the half of the duration pertains to heating and the other half pertain to cooling once again. The temperature evolution is presented as a comparison between the point A and point B. Temperature evolution is given for normalized time scaled with respect to final time of each case which are $0.1, 10$ and 100 respectively. As it is demonstrated in Fig. 4a, at $\bar{t}_f=0.1$, the maximum attained temperature is far below the transformation range which shows for this poor convection conditions, given time is not enough to develop a transformation. In Fig.4b the convection time is $\bar{t}_f = 10$ and even though temperature could achieve to reach the transformation start temperature, it couldn't attain to finish temperature. Besides the temperature difference at two points presents the non-uniformity of the temperature distribution. Finally temperature evolution for the convection time $\bar{t}_f = 100$ at points A & B is presented in Fig. 4c, where the temperatures were able to reach to transformation range with a marginal difference from each. From this point It can be noted that the transformation of the entire model has a relatively uniform temperature distribution.



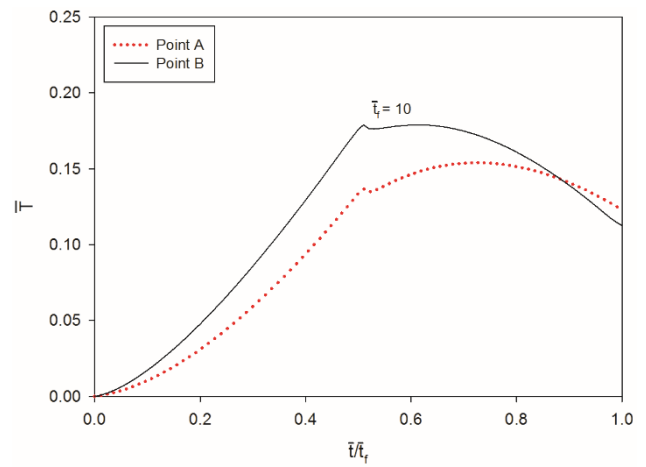
(a)



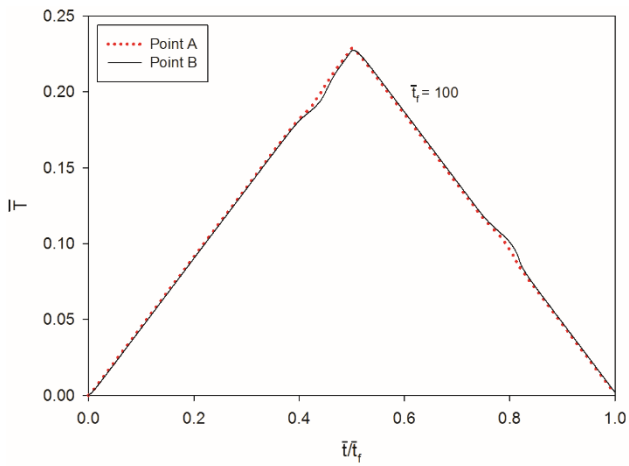
(a)



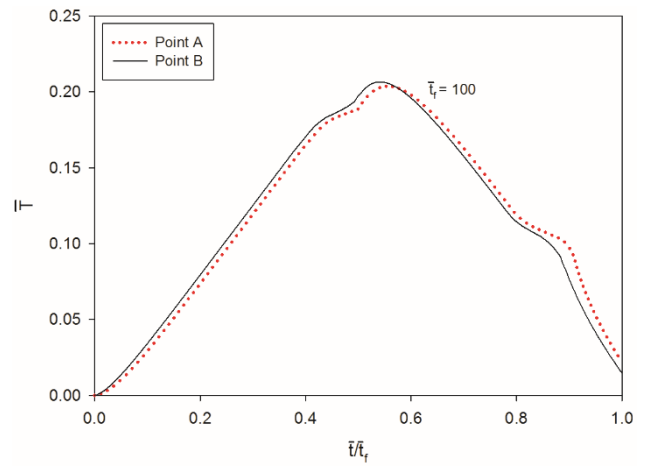
(b)



(b)



(c)



(c)

Figure 3. Non dimensional temperature evolutions with respect to normalized time scaled with respect to exposure time with $h=2.42$ (a) $\bar{\tau}_f=0.1$, (b) $\bar{\tau}_f=10$ and (c) $\bar{\tau}_f=100$.

Figure 4. Non dimensional temperature evolutions with respect to normalized time scaled with respect to exposure time with $h=0.242$ (a) $\bar{\tau}_f=0.1$, (b) $\bar{\tau}_f=10$ and (c) $\bar{\tau}_f=100$.

In Fig. 5 and 6, the temperature contour plot of two sets of simulations are demonstrated. The first one pertains to simulation with $\bar{h}=2.42$ during $\bar{t}=100$ and the latter belongs to the simulation with $\bar{h}=0.242$ during $\bar{t}=0.1$. As given on the graphs, the highest temperatures are observed for the higher convection value which occurs in longer period along the same path given

in Fig. 3. Even though the contour plots for the second figure are looking almost identical, it should be noted that same plot range is used with the first graph which leads to such that visual resemblance between the contours of different time frames which presented in Fig. 3 as well, where the temperature values are very small with regard to longer exposure times in Fig. 4c.

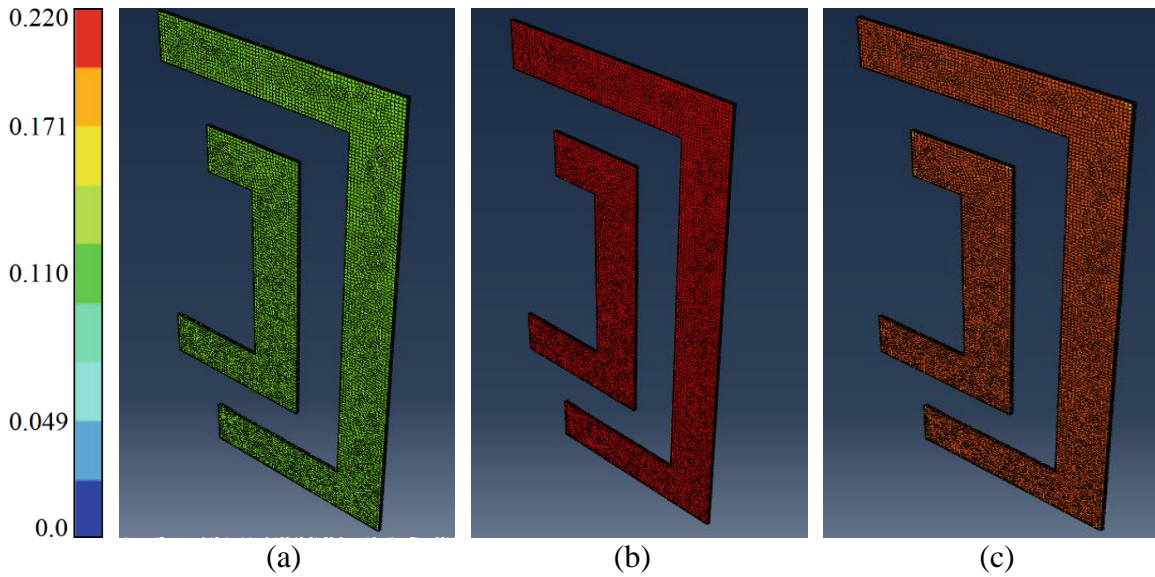


Figure 5. Contour plot of non-dimensional temperature for $\bar{h}=2.42$ with a convection time $\bar{t}_f=100$ at normalized times (a) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.25$, (b) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.5$ and (c) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.75$.

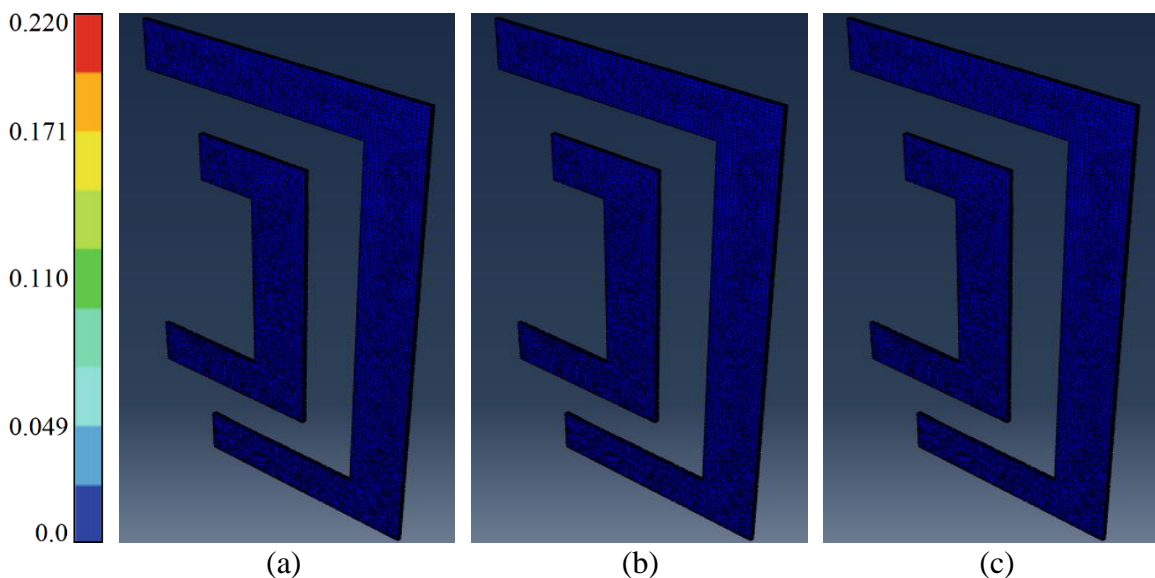


Figure 6. Contour plot of non-dimensional temperature for $\bar{h}=0.242$ with a convection time $\bar{t}_f=0.1$ at normalized times (a) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.25$, (b) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.5$ and (c) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.75$.

From the figures, it is obvious that, when the heat transfer ambient becomes worsen at very low exposure times, the conditions are not sufficient to transform the entire structure as in the better conditions ($\bar{h}=2.42$ during $\bar{t}=100$). Since the simulations are carried out for different convection times in order to provide a comparison between the transformation responses of the simulations, normalized time is used in the same manner given earlier.

The martensite volume fraction evolution for varying exposure times with respect to normalized non dimensional time is presented in Fig. 7. The volume fraction is given as the average martensite ratio of the entire SRR structure. Since the SMA based SRR model calculations for $\bar{h}=2.42$ with $\bar{t}=0.1$ and for $\bar{h}=0.0242$ with $\bar{t}=0.1$ & $\bar{t}=10$ couldn't achieve to

complete the transformation, they are not included to the figure.

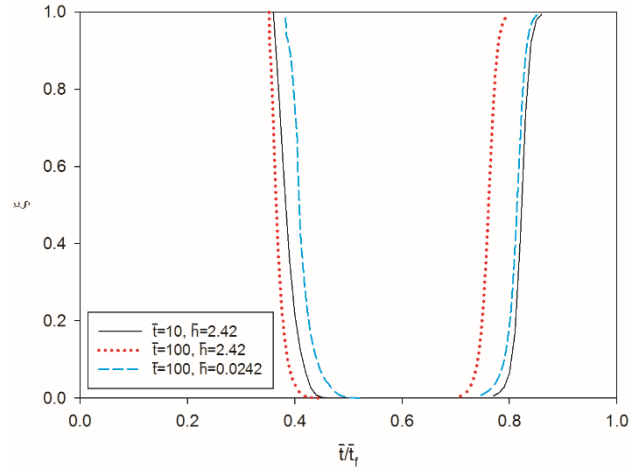


Figure 7. Evolution of martensite volume fraction scaled with different exposure times.

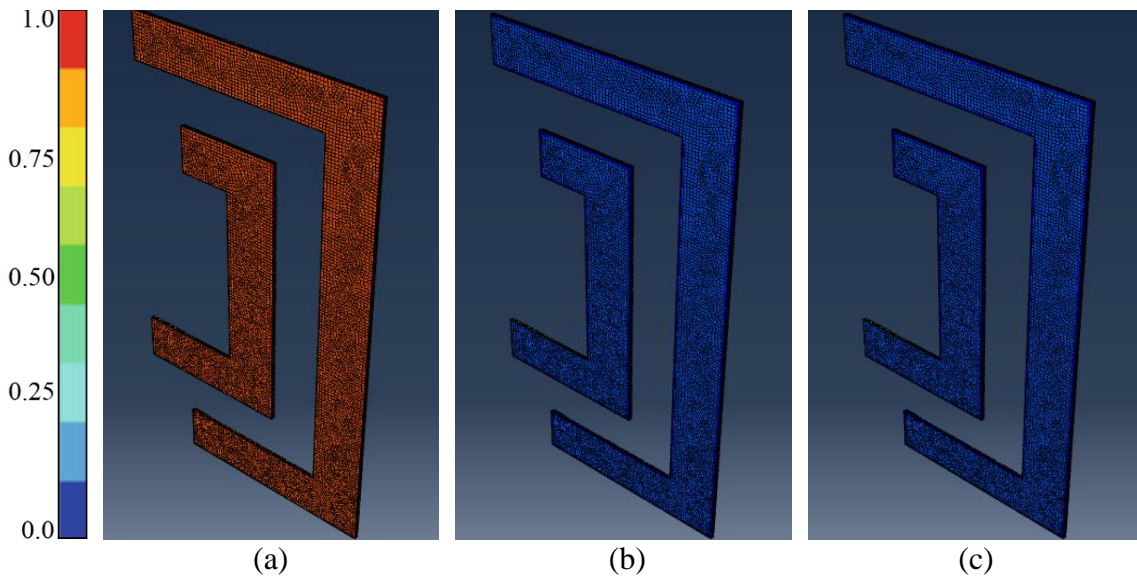


Figure 8. Contour plot of martensitic volume fraction for $\bar{h}=2.42$ with an exposure time $\bar{t}_f=100$ at (a) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.25$, (b) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.5$ and (c) $\bar{t}/\bar{t}_f=0.75$.

In the figure, martensite volume fraction evolves between 1 and 0 where they are corresponding to fully martensite and fully austenite phases respectively. Martensite volume fraction is the measure, which shows the part of the geometry that accomplishes to transform from austenite to martensite. As it is seen the SRR model with longer exposure time completes the transformation either from martensite to austenite or austenite to martensite quicker than the other conditions according to the normalized

non dimensional time. To complete the transformation from martensite to austenite the convection with lower coefficient requires more time then the simulations with higher coefficients as expected but according to the normalized time it can complete the transformation from austenite to martensite about the same time range with the case $\bar{h}=2.42$ with $\bar{t}=10$. The change of martensitic volume fraction over the normalized time is given by contour plots for the simulation with $\bar{h}=2.42$ during $\bar{t}=100$ in Fig. 8. The SRR

hasn't started to turn its phase and still in martensite at $\bar{t}=0.25$ which is represented by red color, in the next frame which shows the volume fraction at $\bar{t}=0.5$, it is seen that entire SRR completes its transformation and color turns to blue. In final frame which pertains to volume fraction at $\bar{t}=0.75$, the color of the SRR model remains blue since the transformation starts just beyond this limit and at the given time the phase of the structure is still austenite. This evolution can be followed from the Fig. 7 where the average volume fraction change is summarized.

Conclusion

This study is a benchmark investigation as a part of an ongoing project, in which the shape memory alloy thin films are planned to be coupled with split ring resonators in order to improve the performance of them. One of the early steps of this investigation is to identify thermal response of the SMA based SRR structure under varying ambient conditions and try to provide preliminary information about the behavior under several conditions.

In this particular work, the SMA based geometry's response is examined under different convection boundary condition for several exposure times as the correspondent of the varying ambient conditions. As regard to the outcomes, when the heat transfer coefficient which represents a better ambient condition, has higher values, the transformation of the geometry becomes easier and uniformly. Besides when the exposure time gets longer, geometry finds enough time to transform uniformly instead of partial transformation which can happen in shorter periods of time. It is obvious from the findings that; the exposure time should be extended to provide the full transformation in worse weather conditions.

Acknowledgement

We are grateful to Dr. A. Bhattacharyya (University of Arkansas at Little Rock) for his contribution by supervising the research.

Nomenclature

A_f	austenite finish temperature, K
A_s	austenite start temperature, K
C_v	heat capacity, $\text{JK}^{-1}\text{m}^{-3}$
\bar{C}_v	dimensionless heat capacity
h	heat transfer coefficient, $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
\bar{h}	dimensionless form of h
H	net latent heat per unit volume, kJ/m^3
\bar{H}	dimensionless form of H
J	current density
\bar{J}	non-dimensional current density
k	thermal conductivity, $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
\bar{k}	dimensionless form of k , $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
L_{max}	film thickness, μm
l	dimension of the SRR, mm
\bar{l}	dimensionless form of l
M_f	martensite finish temperature, K
M_s	martensite start temperature, K
\hat{n}	unit vector
\vec{q}	heat flux, W/m^2
s	dimension of the SRR, mm
\bar{s}	dimensionless form of s
T	temperature, K
\bar{T}	dimensionless temperature
T_0	ambient temperature, K
t	time, s
\bar{t}	dimensionless time
v	dimension of the SRR, mm
\bar{v}	dimensionless form of v
w	dimension of the SRR, mm
\bar{w}	dimensionless form of w

Greek letters

ξ	martensite volume fraction
ρ	electrical resistivity, $\Omega.\text{mm}^{-1}$
$\bar{\rho}$	dimensionless electrical resistivity

Appendix A: User Defined Subroutine for Abaqus (UMATHHT)

The challenging point about the calculations is, using the right material properties at a given point and time for phase transformation's evolution during heating cooling thermal cycle. At any particular location, the material properties rely on the present phase of the location, or in

another word, depends on the volume fraction of phase which is connected to the local temperature of the structure. So it is very important to implement the volume fraction dependent material properties to the calculations.

In ABAQUS, UMATHT subroutine allows to do such calculations. Thus, the rate of change of internal energy is written as

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho C_v(\xi) \frac{\partial T}{\partial t} - Hp(\xi) \frac{\partial T}{\partial t} - \rho(\xi) J^2 \quad \text{A.1}$$

where “ u ” is the internal energy per unit mass. Time discretization represented by $du / dt \sim \Delta u / \Delta t$, we have

$$\Delta u = \left(\rho C_v(\xi) - H \frac{\partial \xi}{\partial T} \right) \Delta T - \rho(\xi) J^2 \Delta t \quad \text{A.2}$$

Given equations and more are used in the subroutine, UMATHT. For details of the implementation, the reader is referred to Ozturk (2015)

References

- Amalraj, J.J., Bhattacharyya, A., Amalraj, J.J., Faulkner, M.G., 2000. Finite-element modeling of phase transformation in shape memory alloy wires with variable material properties. *Smart Materials and Structures* 9(5), 622-631.
- Cetin, A.E., Turkmen, M., Aksu, S., Altug, H., 2012. Nanoparticle-Based Metamaterials as Multiband Plasmonic Resonator Antennas, *Proceedings, IEEE Transactions on Nanotechnology*, 208-212,
- Cheng, X., E., S.D., Whalen, J.J., Yoon, Y.-K., 2010. Electrically small tunable split ring resonator antenna, *Proceedings, 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Toronto, ON, Canada.
- Ege, G.K., Akkus, N., Ege, M., 2016. Analysis of Mechanical Properties of Shape Memory Alloy. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 240-240.
- Hosseini, A., Massoud, Y., 2007. A rectangular metal-insulator-metal based nanoscale plasmonic resonator, *Proceedings, 2007 7th IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE NANO)*, 81-84, Hong Kong, Hong Kong.
- Karthikeyan, S.S., Arulvani, M., 2010. Double negative metamaterial design using open split ring resonator, *Proceedings, 2010 IEEE Students Technology Symposium (TechSym)*, Kharagpur, India.
- Kaya, I., 2017. Effect of cooling rate on the shape memory behaviour of Ti-54at.%Ni alloys. *Anadolu Universtiy Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*.
- Kohl, M., Dittmann, D., Quandt, E., Winzek, B., 2000. Thin film shape memory microvalves with adjustable operation temperature. *Sensors and Actuators A: Physical* 83(1-3), 214-219.
- Lee, A.P., Ciarlo, D.R., Krulevitch, P.A., Lehew, S., Trevino, J., Northrup, M.A., 1996. A practical microgripper by fine alignment, eutectic bonding and SMA actuation. *Sensors and Actuators A: Physical* 54(1-3), 755-759.
- Makino, E., Mitsuya, T., Shibata, T., 2001. Fabrication of TiNi shape memory micropump. *Sensors and Actuators A: Physical* 88(3), 256-262.
- Okamoto, H., Onishi, S., Kataoka, M., Yamaguchi, K., Haraguchi, M., Okamoto, T., 2013. Characteristics of double-plasmonic-racetrack resonator to increase quality factor. *Optical Review* 20(1), 26-30.
- Ozturk, M.M., 2015. Thermal Modeling and Nano Indentation of Shape Memory Alloy Thin Films, *PhD*, University of Arkansas at Little Rock, Mississippi, USA.
- Reynaerts, D., Peirs, J., Van Brussel, H., 1997. An implantable drug-delivery system based on shape memory alloy micro-actuation. *Sensors and Actuators A: Physical* 61(1-3), 455-462.
- Sohn, S.-M., Vaughan, J.T., Gopinath, A., 2011. An interdigitated split-ring resonator for metamaterials. *Microwave and Optical Technology Letters* 53(1), 174-177.

- Varadan, V.V., Ji, L., 2010. Temperature Dependence of Resonances in Metamaterials. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 58(10), 2673-2681.
- Wang, R.X., Zohar, Y., Wong, M., 2002. Residual stress-loaded titanium–nickel shape-memory alloy thin-film micro-actuators. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 12(3), 323-327.



Döner Vinçlerde Modelleme Ve Dinamik Faktör Analizi

Muharrem E. BOĞOÇLU*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü
bogoclu@yildiz.edu.tr ORCID:0000-0002-5021-5865

Geliş: 06.09.2019, Revizyon: 08.10.2019, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Döner vinçlerin yapısal analizlerinde dinamik etkiler, statik yaklaşımla hesaplara katılmaktadır. Buna göre ivmelenmelerden kaynaklanan tüm yük artışları, tek bir dinamik faktöre indirgenmektedir. Bu dinamik faktör statik yüklerle çarpılarak, dinamik etkiler hesaplara katılmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak dinamik faktörün bilgisayar ortamında yapılacak analizlerle hesaplanmasında kullanılabilir indirgenmiş bir model önerisinde bulunulmuştur. İkinci aşamada ise döner vinçlerin tasarım parametrelerinin dinamik faktör üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçlar için dört serbestlik dereceli bir döner vinç modellenmiştir (Şekil 2). Modele giriş olarak, döndürme momenti, M_z ve yük kaldırma kuvveti, F_z etki ettirilmiştir. Benzetim çalışmaları bazı parametrelerin değiştirilmesiyle yirmi sekiz farklı durum için tekrarlanmıştır (Tablo 1). Buna göre döner vinç sisteminin dinamik faktörünün hangi değişkenler tarafından ne ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir (Tablo 2). Sonuç olarak, döner vinçin yatay hareketlerinden kaynaklanan ivmelenmelerin düşey hareketin ivmesi üzerinde etkisinin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre, döner vinçlerin statik analizlerinde kullanılmakta olan dinamik faktörün hesaplanmasında, karmaşık modeller hazırlamak yerine, bu değişkenlerin hesaba katılmasına gerek olmayan daha basit bir model ile çalışmak yeterlidir. Bu basit model kullanılarak farklı hız ve ivme değerleri için dinamik faktörün doğru bir şekilde hesaplanabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca döner vinçlerin farklı tasarım değerleri için de dinamik faktörün değişmediği gözlemlenmiştir (Tablo 3).

Anahtar Kelimeler: Döner vinçler, dinamik faktör, benzetim

Giriş

Yüksek yapıların inşasında, bu yapılar üzerinde ek yük etkisi oluşturmadan, yapı elemanlarının yüksek katlara kısa sürede transferi amacıyla döner vinçler kullanılmaktadır.

Kökçü, yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında endüstriyel uygulanabilir özelliği yüksek kule vinç tasarımı yapmıştır. Solidworks programı ile kule vincin tamamını modellemiştir. ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile kritik alt bileşenler analiz etmiştir. Gerilme ve deformasyon düzeylerinin uygunluğunu görmüştür (Kökçü, 2015:80).

Alver, geliştirdiği sistemde hidrolik mobil vinçlerin performansını iyileştirerek vinç kapasitesinden en üst düzeyde yararlanmayı, çalışma esnasında iş güvenliğini artırmayı sağlamaktadır (Alver, 2012:86).

Sürmen, çalışmasında, portal kreni oluşturan çelik konstrüksiyonlar ve bunlara etkiyen yükleri incelenmiş olup, parçaların emniyetli bir şekilde dizayn edilmesi ve konstrüksiyonun oluşturulmasını amaçlamıştır.

Bu çalışmada sonlu elemanlar metodunun portal kren tasarımında ve optimizasyonunda klasik hesap yöntemlerine göre avantajları ve sunduğu olanakları incelemiştir [Sürmen, 2008:80]

Gustafsson, döner krenin geri besleme kontrolü ile ilgili çalışmalar yapmıştır (Gustafsson, 2015:2). Amacı operatörün taşıyacağı yükü salınım olmadan hareket ettirebilmesi için bir kontrol sistemi tasarlamak ve yükü son pozisyonuna doğru bir şekilde hizalamasını sağlamaktır. Bu deneme doğrusal olmayan bir geri besleme kontrolcüsünün zayıf bağlanmış çiftiyle başarıya ulaşmıştır.

Bogoclu, yaptığı doktora çalışmasında, kule vinçlerinin tasarımı, dinamik davranışları ve kontrolü ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada döner vinçlerde, farklı hız ve ivme değerlerinin, dinamik faktörleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır (Bogoclu, 1987).

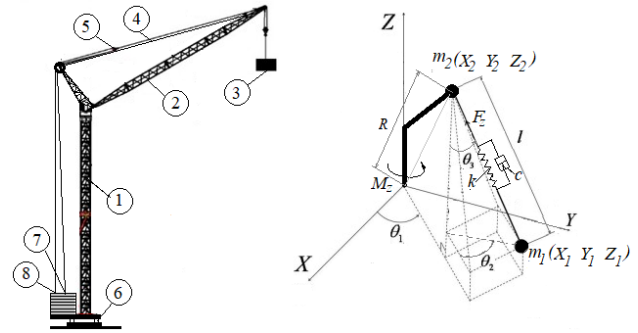
Bu çalışmada, bir döner vinç için, farklı tasarım parametrelerinin, dinamik faktör üzerindeki etkileri araştırılmış ve bir döner vincin dinamik faktörünü hesaplayabilmek için sadeleştirilmiş analiz modeli önerisinde bulunulmuştur. Bu amaçla bir döner kule tipi bir vincin, kule ve yük kolu (bom) kısmı rijit, halat kısmı esnek kabul

edilen fiziksel modeli ele alınmıştır. Lagrange metoduyla enerji denklemleri çıkarılan sistemin matematik modeli oluşturulmuş ve bu model MATLAB©-SIMULINK programında integre edilerek ve bilgisayar ortamında benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Model Vinç

Bu çalışmada model olarak, düşey düzlemde hareketli yük koluna sahip bir döner vinç irdelenmektedir (Şekil 1).

Yapılan bu çalışmada döner vincin dinamik davranış denklemlerini oluştururken bazı kabuller yapılmıştır. Yük kolu ve kule yapısı rijit olarak kabul edilmiştir. Model vincin kol ağırlığı m_2 yük kolunun en ucuna indirgenmiştir. Yükün kütle sinin, m_1 asılı olduğu halat da esnek kabul edilmiş olup yay karakteristiğine k ve sönüm katsayısına, c sahiptir. Kulenin tabanı ile yük kolunun ucu arasındaki R mesafesi benzetim çalışmalarında sabit değer olarak alınmıştır.



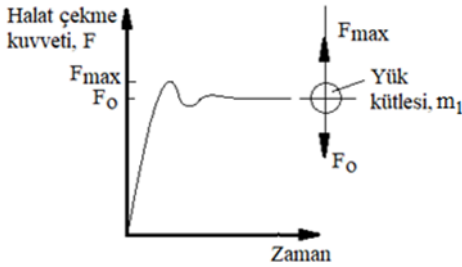
Şekil 1. Döner vincin fiziksel modeli. Burada, (1) Kule, (2) Yük kolu (boom), (3) Yük, (4) Yük çekme halatı, (5) Yük kolu çekme halatı, (6) Döndürme mekanizması, (7) Yük kaldırma mekanizması, (8) Yük kolu döndürme mekanizması.

Model, yükün düşey düzlemde kaldırılması, yük kolunun düşey düzlemde döndürülmesi ve sistemin yatay düzlemde döndürülmesi olarak, gerçekte 3 serbestlik derecesine sahiptir. Ancak halatın salınımları dikkate alınarak 4 serbestlik dereceli bir matematik model hazırlanmıştır. Bu modeldeki durum değişkenleri, yükün yüksekliği, z , sistemin yatay düzlemde dönme açısı, θ_1 , yükü çeken halatın yatay düzlemde dönme açısı, θ_2 , yükü çeken halatın düşey eksenle yaptığı açısı, θ_3 , olarak

değerlendirilmiştir. Döner viç modelinde giriş değişkenleri ise yük halatını çekme kuvveti, F_z ve yüklerle birlikte sistemi yatay düzlemde döndüren moment, M_z olarak alınmıştır.

Vinçlerde Dinamik Faktör

Bir vincin yük transferinde hızlanma ve yavaşlama ivmeleri, vinç yapısındaki dinamik davranışları etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu ivmelerin etkisi ile halat üzerinde etkili dinamik kuvvet, F_{max} ve statik, F_0 denge kuvvetleri arasındaki fark oluşmaktadır (Şekil 2). Genel olarak vinç yapılarının hesaplamalarında dinamik etkiler statik gibi değerlendirilmektedir. Bu amaçla statik yükün etkisi, dinamik faktör, μ ile arttırılmaktadır.



Şekil 2. Bir vincin çalışmasında yük-zaman eğrisinin görünüşü.

Dinamik faktör yatay hareketin ivmeleri ihmal edilirse DIN 15018 standardına uygun olacak şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (1). Bu çalışmanın sonucunda da yatay hareketin ivmelerinin ihmal edilebileceği anlaşılmıştır.

$$\mu = \frac{F_{max}}{F_0} = \frac{m_1 (a + g)}{m_1 g} = 1 + \frac{a}{g} \quad (1)$$

Denklem 1 den de anlaşıldığı üzere dinamik faktör doğrudan vincin ivmesine bağlıdır.

Dinamik Davranış Denklemleri

Sistemin kinetik enerji, E_k potansiyel enerji, E_p ve sönüm enerjisi, E_D denklemleri çıkarılmış ve dinamik davranış denklemleri Lagrange metodu kullanılarak elde edilmiştir (2).

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}} \right) + \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}} + \frac{\partial E_p}{\partial x} = F \quad (2)$$

Denklem 2 de, x, durum değişkenlerini, F, dış kuvvetleri ve t, zamanı belirtmektedir. Burada sistem enerjileri denklem 3, 4 ve 5 de verilmektedir.

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{X}_2^2 + \dot{Y}_2^2 + \dot{Z}_2^2) \quad (3)$$

$$E_p = m_1 g L (1 - \cos \theta_3) + \frac{1}{2} k (L - L_0)^2 \quad (4)$$

$$E_D = \frac{1}{2} c \dot{L}^2 \quad (5)$$

Denklem 3 deki (X,Y,Z) koordinatları, $(L, \theta_1, \theta_2, \theta_3)$ cinsinden yazılarak denklem 2 ye göre düzenlenecek olursa sistemin dinamik davranış denklemleri elde edilir (denklem 6).

$$\ddot{x} = Ax + Bu \quad (6)$$

Denklem 6 da, x, durum değişkenleri matrisini, u giriş değişkenleri matrisini, A ve B de bu matrislerin katsayılarını ifade etmektedir. Burada gerekli düzenlemeler yapılarak dinamik davranış denklemleri doğrusal olmayan formda, denklem 6,7,8,9,10 ve 11 de verilmektedir.

Durum değişkenleri aşağıdaki gibidir;

$$L = x_1, \dot{L} = x_2, \ddot{L} = x_3$$

$$\theta_1 = x_4, \dot{\theta}_1 = x_5, \ddot{\theta}_1 = x_6,$$

$$\theta_2 = x_7, \dot{\theta}_2 = x_8, \ddot{\theta}_2 = x_9,$$

$$\theta_3 = x_{10}, \dot{\theta}_3 = x_{11}, \ddot{\theta}_3 = x_{12}$$

Sistemin giriş değişkenleri halat çekme kuvveti ve vinç döndürme momentidir.

$$F_z = u_1, M_z = u_2 \quad (7)$$

Yük çekme halatının hareket denklemleri;

$$x_3 = R \cos(x_7) \sin(x_{10}) - R x_5 x_{11} \sin(x_7) \cos(x_{10}) - g [1 - \cos(x_{10})] - (c/m_1) x_2 - (k/m_1) (x_1 - L_0) - R x_6 \sin(x_7) \sin(x_{10}) + u_1/m_1 \quad (8)$$

Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı θ_1 açısının hareket denklemleri;

$$x_6 = (1 / \{ [R^2 + x_1^2 \sin^2(x_{10}) + 2 R x_1 \sin(x_{10}) \cos(x_7)] + m_2 R^2 / m_1 \}) [R x_1 x_8^2 \sin(x_7) \sin(x_{10}) + R x_1 x_{11}^2 \sin(x_7) \sin(x_{10}) + 2 R x_1 x_5 x_8 \sin(x_7) \sin(x_{10}) - 2 x_1 (R \cos(x_7) \cos(x_{10}) + x_1 x_5 x_{11} \sin(x_{10}) \cos(x_{10})) - 2 [x_5 x_1 \sin^2(x_{10}) + 2 R x_2 x_5 \sin(x_{10}) \cos(x_7)] - 2 x_1 x_8 x_{11} [R \cos(x_7) \cos(x_{10}) + x_1 \sin(x_{10}) \cos(x_{10})] - 2 x_2 x_8 [x_1 \sin^2(x_{10}) + R \cos(x_7) \sin(x_{10})] - 2 R x_2 x_{11} \sin(x_7) \cos(x_{10}) - R x_3 \sin(x_7) \sin(x_{10}) - x_3 [(x_1^2 \sin^2(x_{10}) + R x_1 \sin(x_{10}) \cos(x_7)) - R x_1 x_{12} \sin(x_7) \cos(x_{10}) + (u_2 / m_1)] \quad (9)$$

Yükün asılı olduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı θ_2 açısının hareket denklemleri;

$$x_9 = \{ 1 / [x_1^2 \sin^2(x_{10})] \} (R x_1 x_5 x_8 \sin(x_7) \sin(x_{10}) - x_1 x_5 x_{11} [R \cos(x_7) \cos(x_{10}) + 2 x_1$$

$$\begin{aligned} & \sin(x_{10}) \cos(x_{10})] - x_2 x_8 [2 x_1 \sin^2(x_{10}) + R \\ & \sin(x_{10}) \cos(x_7)] - 2 x_1^2 x_8 x_{11} \sin(x_{10}) \\ & \cos(x_{10}) - 2 x_1 x_2 x_8 \sin(x_{10}) - x_1^2 \sin^2(x_{10}) + \\ & R x_1 x_6 \sin(x_{10}) \end{aligned} \quad (10)$$

Yükün asılı olduğu halatın z eksenine göre yaptığı θ_3 açısının hareket denklemi;

$$\begin{aligned} x_{12} = [I / x_1^2] [-R x_1 x_5 x_8 \cos(x_7) \cos(x_{10}) + \\ R x_1 x_5 x_{11} \sin(x_7) \sin(x_{10}) - R x_2 x_5 \sin(x_7) \\ \cos(x_{10}) - 2 x_1 x_2 x_{11} - g \sin(x_{10}) - R \\ x_1 x_6 \sin(x_7) \cos(x_{10})] \end{aligned} \quad (11)$$

Bilgisayar Ortamında Benzetim Çalışmaları

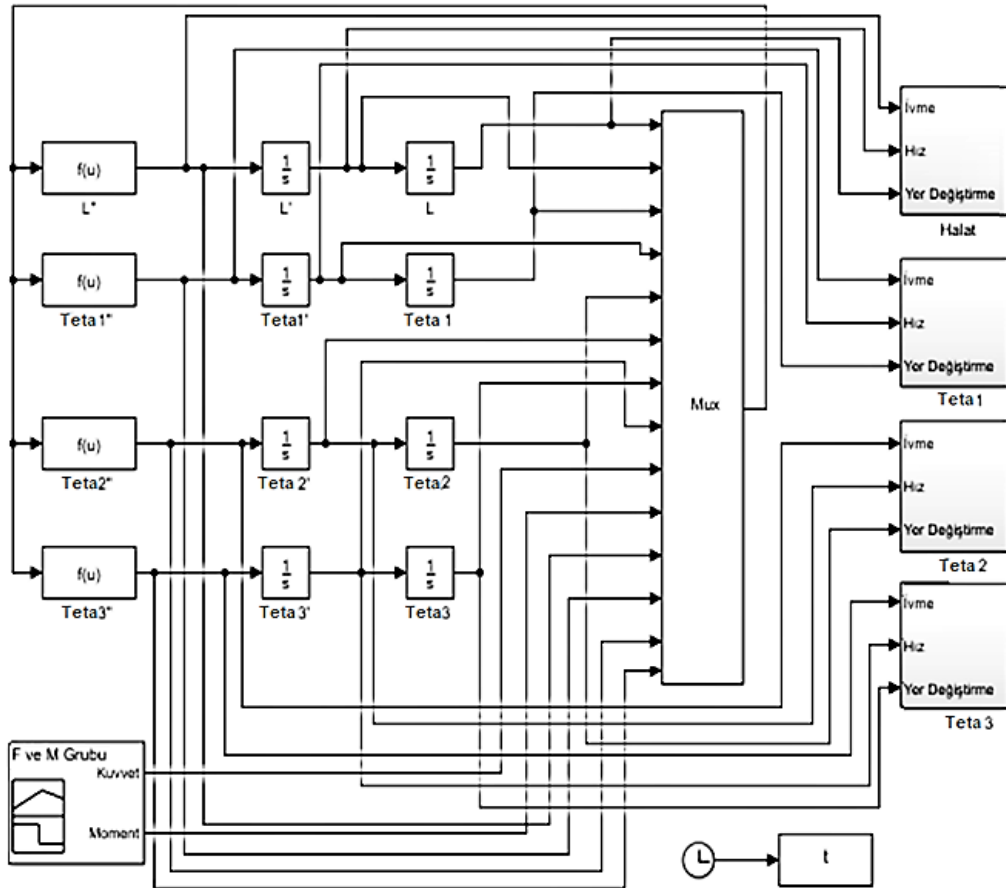
Durum denklemleri MATLAB©-SIMULINK programında integre edilerek 22 farklı yük transfer senaryosu için benzetim çalışmaları yük ve döndürme momenti girişleri ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Tüm yük transfer senaryolarında dinamik faktöre etkisi incelenmek istenen girdiler değiştirilmiş, diğer parametreler sabit tutulmuştur (Tablo 1).

Tablo 2 de, ilk altı yük transfer senaryosunda sonucunda, yükün asıldığı halata ilave bir çekme

kuvveti uygulanmamış olup ($F_z = m_1 g$), sistem M_z momentinin etkisinde yatay düzlemde döndürülmekte iken hesaplanan ivme değerleri verilmektedir. Aynı tabloda, 7-12 arasındaki senaryolarda, yük artırılan F_z kuvvetinin etkisi ile kaldırılırken aynı anda M_z momentinin etkisi ile döndürülmektedir. Bu durum için hesaplanan ivme değerleri bu tabloda görülmektedir. Bu tablolarda bahsedilmekte olan ivme değerleri, ivme-zaman grafiklerindeki maksimum değerleri ifade etmektedir.

Döner vinçin önemli tasarım parametrelerinden halat esnekliği, sönüm sabiti, halat boyu, yük veya yük kolu kütlelerinin farklı değerleri için yapılan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen ivme değerleri tablo 3 de görülmektedir. Burada 10 farklı yük transfer senaryosuna göre analizler yapılmıştır. İlk 5 senaryoda (senaryo 13-17), yük halata asılmış durumda olup denge durumunda iken sistem döndürülmektedir. İkinci 5 senaryoda ise (senaryo 18-22), yük hem kaldırılmakta ve hem de döndürülmektedir.



Şekil 3. Döner vinç sisteminin Matlab©-Simulink yazılımında hazırlanmış blok diyagramı.

Yalnızca Kuvvet, Moment ve Kütlede Değiştiği Senaryolar (Girdiler)							
<i>Senaryolar</i>	<i>Moment (Nm)</i>	<i>Kütle (kg)</i>	<i>Kuvvet (N)</i>	<i>Halat Esn. Sbt. (N/m)</i>	<i>Halat Sön. Sbt. (Ns/m)</i>	<i>Halat Boyu(m)</i>	<i>Bom Kolu Kütle(kg)</i>
Yük halatına çekme kuvveti uygulanılmayan senaryolar (Yük askıda dengede)							
1 - 2 - 3	20000	250	2452,5	30000	3000	2	3500
4 - 5 - 6	40000	500	4905				
		1000	9810				
Yük halatı üzerinde çekme kuvveti etkili olan senaryolar							
7 - 8 - 9	20000	250	3433,5	30000	3000	2	3500
10 - 11 - 12	40000	500	5886				
		1000	11772				
Halat Esneklik Sabiti, Sönümlenme Sabiti, Uzunluğu ve Bom Kolumun Kütlelerinin Değiştiği Senaryolar (Girdiler)							
<i>Senaryolar</i>	<i>Moment (Nm)</i>	<i>Kütle (kg)</i>	<i>Kuvvet (N)</i>	<i>Halat Esn. Sbt. (N/m)</i>	<i>Halat Sön. Sbt. (Ns/m)</i>	<i>Halat Boyu(m)</i>	<i>Bom Kolu Kütle(kg)</i>
Yük halatına çekme kuvveti uygulanılmayan senaryolar (Yük askıda dengede)							
13	40000	500	4905	100000	3000	2	3500
14				30000	3000		
15						3000	5
16 - 17				2	3000		3250
Yük halatı üzerinde çekme kuvveti etkili olan senaryolar							
18	40000	500	5886	100000	3000	2	3500
19				30000	3000		
20						3000	5
21 - 22				2	3000		3250

Tablo 1. Farklı senaryolarda kullanılan sistem parametreleri, halat çekme kuvvetleri ve sistem döndürme momenti değerleri

<i>Senaryolar</i>	<i>Halat ivmesi</i>	<i>Teta 1 İvmesi</i>	<i>Teta 2 İvmesi</i>	<i>Teta 3 İvmesi</i>
	<i>(m/s²)</i>	<i>(°/s²)</i>	<i>(°/s²)</i>	<i>(°/s²)</i>
Yük halatına çekme kuvveti uygulanılmayan senaryolar (Yük askıda dengede)				
1 - 2 - 3	0,017-0,024-0,032	1,05	250-210-200	10.07.2005
4 - 5 - 6	0,019-0,028-0,04	2,11	200-170-130	17-14,5-10,5
Yük halatı üzerinde çekme kuvveti etkili olan senaryolar				
7 - 8 - 9	3,87-1,908-1,81	1,05	215-210-185	10.08.2005
10 - 11 12		2,11	195-180-110	16-14-10

Tablo 2. Sadece kuvvet, moment ve kütlede değiştiği senaryolar

Senaryolar	Halat ivmesi (m/s ²)	Teta 1 İvmesi (°/s ²)	Teta 2 İvmesi (°/s ²)	Teta 3 İvmesi (°/s ²)
Yük halatına çekme kuvveti uygulanılmayan senaryolar (Yük askıda dengede)				
13	0,034	2,12	195	16
14	0,004	2,17	185	15
15	0,025	2,1	50	7
16 - 17	0,030	2,45	185	17
	0,030	2,26	180	16
Yük halatı üzerinde çekme kuvveti etkili olan senaryolar				
18	1,908	2,16	190	15
19	1,907	2,16	180	14
20	1,908	2,11	50	5
21 - 22	1,908	2,45-2,25	180	17-15

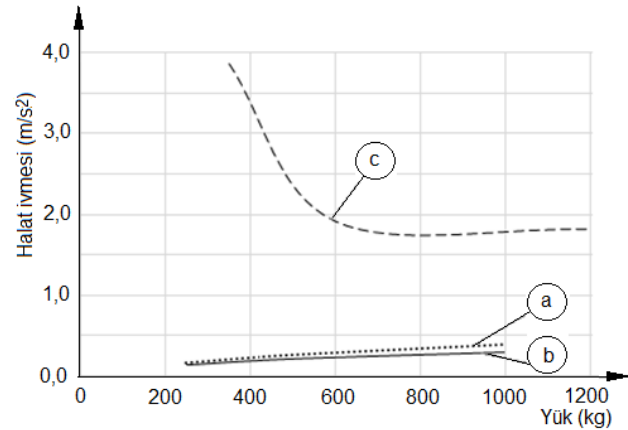
Tablo 3. Halatın uzunluğu ile esneklik ve sönüm sabitlerinin ve bom kolunun kütlelerinin değiştiği senaryolar

Sonuçlar

Bu çalışmada, bir döner vincin dinamik faktörün analizi ve bu faktör üzerinde etkili parametreler incelenmiştir.

Şekil 4 e göre, ilk altı yük transfer senaryosunu benzetim çalışmaları sonucunda, vinci yatay düzlemde döndürme momenti, $M_1=20.000$ Nm den $M_2= 40.000$ Nm ye, iki misli değiştirilmesine rağmen, üç farklı farklı yük kütlesi için, düşey yöndeki yük ivmesinde kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Buna göre, yükün asıldığı halata ilave bir çekme kuvveti uygulanmadığı bu durumda, değişen dönme hız ve ivme değerlerine rağmen, yükün üzerinde, dönme hareketinden kaynaklanan düşey ivme etkisinin çok küçük olduğu anlaşılmaktadır. Aynı tabloda ikinci altı transfer senaryosunda ise yüke uygulanan F_z kuvvetine bağlı olarak düşey ivmenin arttığı ancak yatay ivmelerin değişmediği de görülmektedir. Bu sonuçlara göre, döner vincin yatay hareketlerinden kaynaklanan ivmelerin düşey hareketin ivmesi üzerindeki etkisinin %1 in altında kaldığı dolayısı ile ihmal edilebileceği anlaşılmıştır. Dolayısı ile bundan sonraki araştırmalarda döner vincin dinamik faktörü hesaplanırken karmaşık modeller yerine, döndürme hareketlerinin dâhil edilmediği daha basit modeller kurgulanarak dinamik faktörün kolayca hesaplanabileceği anlaşılmaktadır.

Döner vincin tasarım parametrelerinin değiştirildiği farklı yük transfer senaryolarının sonucunda da yük üzerindeki düşey ivme değerlerinin değişmediği görülmektedir(tablo 3).



Şekil 4. Yükün askıda dengede tutulduğu durumda dönme hareketinden kaynaklanan düşey ivmelerin döndürme momentine ve yükün kütlelerine bağlı değişimi. Burada; (a) Yük üzerinde kaldırma kuvveti etkili değil, sistem döndürme momenti, 20.000 Nm, (b) Yük üzerinde kaldırma kuvveti etkili değil, sistem döndürme momenti, 40.000 Nm, (c) Yük üzerinde farklı kaldırma kuvvetleri etkili, sistem döndürme momenti 20.000 Nm ve 40.000 Nm için aynı ivme değerlerine ulaşılmaktadır.

Bu ikinci sonuca göre de, farklı tasarım parametrelerine sahip döner vinçlerde, dinamik

faktörün değerinin değişmediği, sabit kaldığı anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- Abdullah, W. (2016). Hybrid Command Shaping and Pd Controller For Sway Suppression Of Rotary Crane System, Bachelor Thesis of Electrical Engineering, Universiti Malaysia Pahang
- Alver, V. (2012). Mobil Hidrolik Vinçler için Kontrol Sistemi Geliştirilmesi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Baruh, H. (1999) Analytical Dynamics, Rutgers University
- Boğoçlu, M., Sağirli A., Ömürlü V. E., Modeling the Dynamics and Kinematics of a Telescopic Rotary Crane by the Bond Graph Method: Part I, Nonlinear Dynamics, September 2003, Volume 33, Issue 4, pp 337–351
- Boğoçlu, M., Sağirli A., Ömürlü V. E., Modeling the Dynamics and Kinematics of a Telescopic Rotary Crane by the Bond Graph Method: Part II, Nonlinear Dynamics, September 2003, Volume 33, Issue 4, pp 353–3567
- DIN 15018, (1984) Cranes, Steel Structures Verification And Analysis, Deutsche Norm
- Ercan, Y. (2014) İleri Dinamik, Ankara,
- Gustafsson, T. (2015) Modelling and Control of Rotary Crane Systems, Doctor of technology thesis, Universisty of Lule
- Kökçü, İ. (2015). Kule Vinci Tasarımı Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- SÜRMEH, H. Kemal (2008) 2x250 Portal Kren Konstrüksiyonun Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Modeling and Dynamic Factor Analysis in Rotary Cranes

Extended abstract

Due to the development of the construction sector in recent years, the rotary cranes, which are used extensively in the sector, are expected to perform their duties quickly and precisely. Therefore, acceleration is an important criterion in the design of these machines. In the structural analysis of rotary cranes, dynamic effects are added to the calculations as a static approach. Accordingly, all load increases resulting from accelerations are reduced to a dynamic factor.

This dynamic factor is multiplied by static charge and dynamic effects are added to the calculations. In this study, firstly, a reduced model is proposed which can be used to calculate the dynamic factor by computer analysis. In the second stage, the effects of the design parameters of the rotary cranes on the dynamic factor are examined. A four-degree-of-freedom rotary crane is modeled for these purposes (Figure 2). The mathematical model is prepared by the method of Lagrange multipliers and the simulation studies are performed in MATLAB program.

As an introduction to the model, the torque M_z and the load-bearing force F_z are activated. Simulation

studies are repeated for twenty-eight different situations by changing some parameters (Table 1). In these scenarios, the amount of influence of the different model parameters on the dynamic factor of the rotary crane is investigated using the resulting acceleration values and graphs (Table 2).

As a result, it is observed that the effect of the acceleration caused by the horizontal movements of the rotary crane on the acceleration of the vertical movement is negligible. Accordingly, for the calculation of the dynamic factor used in the static analysis of rotary cranes, instead of preparing more complex models, it is sufficient to work with a simpler model that does not take these negligible variables into account. Using this simple model, the dynamic factor can be calculated accurately for different velocity and acceleration values. It is also observed that the dynamic factor does not change for the different design parameter values of rotary cranes (Table 3).

Keywords: Rotary cranes, dynamic factor, simulation, Lagrange multipliers.

Transfer Matris Metodu ile Fonksiyonel Derecelendirilmiş Sandviç Kirişlerin Titreşim Analizi

Vibration Analysis of Functionally Graded Sandwich Beams with Transfer Matrix Method

Pınar Aydan Demirhan^{1*}, Vedat Taşkın²

¹ Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, pinard@trakya.edu.tr

² Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, vedattaskin@trakya.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 25 Aralık 2019
Düzeltilme: 9 Mart 2020
Kabul: 10 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

Fonksiyonel derecelendirilmiş,
sandviç, kiriş, titreşim

ÖZET

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler geleneksel malzemelerin uygun olmadığı çalışma koşulları için tasarlanmış özel bir kompozit malzeme sınıfıdır. Malzeme özellikleri istenen doğrultuda bir fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. Malzeme özelliklerinde keskin geçişler olmaması nedeniyle katmanlı kompozit yapılarda karşılaşılan problemleri ortadan kaldıran fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler sandviç yapılar içinde öz veya yüzey tabakası olarak kullanılabilir. Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim analizi yapılmıştır. Sandviç kirişin yüzey tabakaları fonksiyonel derecelendirilmiş, öz tabakası izotropik malzeme olarak kabul edilmiştir. Sandviç kirişin yer değiştirme bileşenleri Euler-Bernoulli kiriş teorisi ile tanımlanmış, farklı sınır koşulları için elde edilen kiriş denklemi transfer matris metodu ile çözülmüştür. Sandviç öz ve yüzey tabakası kalınlık oranlarının ve hacimsel değişim üstelinin değişiminin doğal frekansın değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sandviç öz ve yüzey tabakası kalınlık oranlarının doğal frekans değeri üzerinde etkin olduğu ve hacimsel değişim üstelindeki artışın tüm sınır koşulları için boyutsuz doğal frekans değerini düşürdüğü görülmüştür.

Doi: 10.24012/dumf.664735

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24 December 2019
Revised: 9 March 2020
Accepted: 10 March 2020

Keywords:

Functionally graded, sandwich,
beam, vibration

ABSTRACT

Functionally graded materials are a special class of composite material that is designed for the working environment not suitable for conventional material. Their material properties vary depending on a function corresponding to the desired direction. Owing to the smooth gradient of material properties, functionally graded materials eliminate the delamination problem of the laminated composites. Functionally graded materials can be used as face sheets or core material in sandwich structures. In this study, the vibrational analysis of functionally graded sandwich beams is presented. The face sheets of the sandwich beam are assumed functionally graded and the core is assumed isotropic. The displacement fields of the sandwich beam are defined by Euler-Bernoulli's beam theory. Beam equations for various boundary conditions are solved by the transfer matrix method. The effects of core-face sheets thickness ratio and volume fraction on the natural frequency of the sandwich beam are investigated. It is observed that the sandwich core and surface layer thickness ratios are effective on the natural frequency values, and the increase in the volume fraction coefficient decreases the dimensionless natural frequency values for all boundary conditions.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Pınar Aydan DEMİRHAN
✉ pinard@trakya.edu.tr

Giriş

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler iki malzemenin istenen doğrultuda bir fonksiyona bağlı olarak değiştiği özel bir kompozit malzeme sınıfıdır. Geleneksel malzemelerin uygun olmadığı çalışma koşullarında fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin gösterdikleri performans dikkat çekmektedir. Katmanlı kompozit yapılarda ortaya çıkan tabaka ayrılması ve gerilme yığılmaları gibi problemler, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerde malzeme özelliklerindeki yumuşak geçişler sayesinde ortadan kaldırılmıştır. 1980'lerde uzay uygulamaları için geliştirilen fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler günümüzde elektronik, biyomalzemeler, optik ve yapısal malzemeler olarak da kullanılmaktadır [1]. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler bu alanlarda tek başlarına kullanılabilirdiği gibi sıklıkla sandviç yapılarda öz veya yüzey tabakası olarak da kullanılmaktadır. Genellikle plak ve kiriş formunda kullanılan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerle oluşturulmuş bu sandviç yapıların statik ve dinamik davranışlarının bilinmesi oldukça önemlidir [2].

Literatürde fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç yapıların dinamik analizi ile ilgili çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Li (2008) fonksiyonel derecelendirilmiş Euler-Bernoulli ve Timoshenko kirişlerin statik ve dinamik analizini kayma gerilmelerini hesaba katan bir yaklaşımla analiz etmiştir. Sina ve arkadaşları (2009) Birinci Mertebe Kayma deformasyon teorisini kullanarak fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin titreşimi için analitik çözüm elde etmiştir. Vo ve arkadaşları (2014) ve Vo ve arkadaşları (2015) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim ve burkulma analizini sonlu elemanlar yöntemi ile yapmıştır. Gözenekli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin titreşim analizini Wattanasakulpong ve Ungbhakorn (2014) diferansiyel dönüşüm yöntemi ile yapmış, Wattanasakulpong ve Chaikittiratana (2015) Chebyshev sıralama metodu ile yapmıştır. Nguyen ve arkadaşları (2015) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim ve

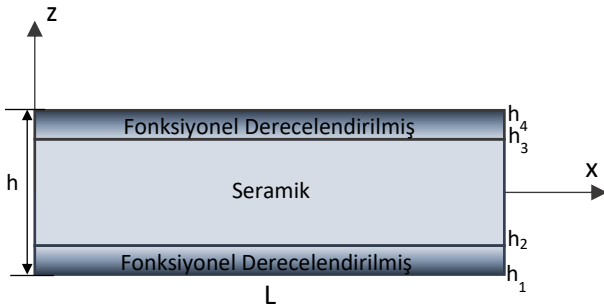
burkulma problemleri için yeni bir kayma deformasyon teorisi önermiştir. Nguyen ve arkadaşları (2016) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim ve burkulma problemleri için analitik çözüm elde etmiştir. Osofero ve arkadaşları (2016) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşimi için yarı-üç boyutlu bir teori sunmuşlardır. Kitipornchai ve arkadaşları (2017) fonksiyonel derecelendirilmiş gözenekli kirişlerin burkulma ve titreşim analizini Ritz yöntemi ile yapmıştır. Demirhan (2016) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kiriş ve plakların eğilme ve titreşim analizini dört değişkenli kayma deformasyon teorisi ile durum-uzay yöntemi kullanarak yapmıştır. Li ve arkadaşları (2017) eksenel fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin eğilme, burkulma ve titreşim davranışlarını araştırmıştır. Al Rjoub ve Hamad (2017) gözenekli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin titreşim analizini transfer matris metoduyla yapmıştır. Bir dinamik analiz metoduna dayanan transfer matris yöntemi hareket denklemini elemanın iki ucundaki yer değiştirme ve kuvvet ilişkileriyle tanımlayan bir matrise indirgeyen bir yöntemdir. [13] Trinh ve arkadaşları (2016) fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim analizini durum-uzay yaklaşımı ile yapmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç plakların eğilme analizini Demirhan ve Taşkın (2017) durum-uzay yöntemi ile Demirhan ve Taşkın (2019a) Navier yaklaşımı ile sunmuştur. Demirhan ve Taşkın (2019b) gözenekli fonksiyonel derecelendirilmiş plakların eğilme ve titreşim analizini durum-uzay yöntemi ile sunmuştur. Kahya ve Turan (2018) yaptıkları çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim ve burkulma davranışlarını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmiştir. Şen ve Hüseyinoğlu (2018) yaptıkları çalışmada poliüretan takviye kalınlığının sandviç kirişin modal özelliklerine etkisini incelemiştir. Hüseyinoğlu ve Abut (2019) iki ucu ankastre U çerçeve yapının modal analizini sunan bir çalışma yapmıştır. Hüseyinoğlu ve arkadaşları (2019) ankastre mesnetli uniform ve uniform olmayan kesitli sandviç kirişlerin frekans

analizini yapmıştır. Yapılan literatür araştırması sonucunda fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim probleminin çözümünde transfer matris metodundan yararlanan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim analizi sunulmuştur. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin etkin özelliklerinin değişimi karışımlar kuralı ile tanımlanmış, hacimsel değişim fonksiyonu olarak bir üstel fonksiyon seçilmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin yer değiştirme bağıntıları Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre tanımlanmıştır. Hareket denklemleri Hamilton prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Farklı sınır koşulları için yönetici denklemlerin çözümünde transfer matris metodu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

Materyal ve Yöntem

h kalınlığında, L uzunluğunda yüzey tabakaları fonksiyonel derecelendirilmiş, seramik özlü bir sandviç kiriş dikkate alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Fonksiyonel derecelendirilmiş yüzeyli sandviç kiriş

Figure 1. Sandwich beam with functionally graded face sheets

Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişin elastiklik modülünün kalınlıkla değişimi $E(z)$, yoğunluk değişimi $\rho(z)$ fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

$$E(z) = E_m + (E_s - E_m)V(z) \quad (1)$$

$$\rho(z) = \rho_m + (\rho_s - \rho_m)V(z) \quad (2)$$

Burada E_m ve E_s sırasıyla metal ve seramik malzemenin elastiklik modülünü, ρ_m ve ρ_s

sırasıyla metal ve seramik malzemenin yoğunluğunu temsil etmektedir.

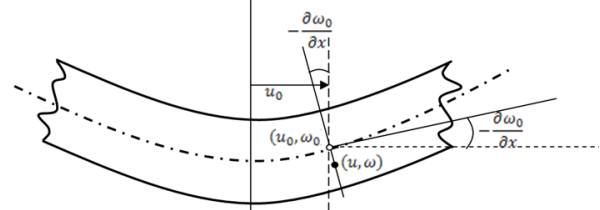
$$V(z) = \begin{cases} \left(\frac{z-h_1}{h_2-h_1}\right)^k & h_1 < z \leq h_2 \\ 1 & h_2 < z \leq h_3 \\ \left(\frac{z-h_4}{h_3-h_4}\right)^k & h_3 < z \leq h_4 \end{cases} \quad (3)$$

$V(z)$ hacimsel değişim fonksiyonu Denklem 3'teki gibi kabul edilmiştir. Burada k hacimsel değişim üstelini temsil etmekte, alt ve üst yüzey tabakaları p 'nin sıfır değeri için seramik, k 'nın sonsuz değeri için metal olmaktadır. k 'nın diğer değerleri için alt ve üst yüzey tabakaları dış yüzeylerinde metalik özellik gösterirken, yüzeyden itibaren içe doğru ilerledikçe tabakanın seramik özelliği fonksiyona bağlı olarak artmaktadır.

Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre yer değiştirme bileşenleri Denklem 4-5'teki gibi tanımlanmıştır.

$$u(x, z, t) = u_0(x, t) - z\theta(x, t) \quad (4)$$

$$w(x, t) = w_0(x, t) \quad (5)$$



Şekil 2. Euler-Bernoulli kiriş teoreminde deformasyon [2]

Figure 2. Deformation of Euler-Bernoulli beam theory

Genleme yer değiştirme ilişkileri Denklem 6-7'de verilmiştir.

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (6)$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \theta \quad (7)$$

Gerilme genleme ilişkileri Denklem 8-9'da verilmiştir.

$$\sigma_x = Q_{11}(z)\epsilon_x \quad (8)$$

$$\tau_{xz} = Q_{55}(z)\gamma_{xz} \quad (9)$$

Rijitlik matrisi elemanları Denklem 10-11’de verilmiştir. Burada Q_{11} ve Q_{55} dönüştürülmüş rijitlik matrisi elemanlarıdır.

$$Q_{11}(z) = \frac{E(z)}{(1-\nu^2)} \quad (10)$$

$$Q_{55}(z) = \frac{E(z)}{2(1+\nu)} \quad (11)$$

Hareket denklemlerinin elde edilmesinde Hamilton prensibinden yararlanılmıştır. $\delta U, \delta V$ ve δK sırasıyla genleme enerjisinin, dış kuvvet tarafından yapılan işin ve kinetik enerjinin varyasyonel ifadesidir.

$$\int (\delta U + \delta V - \delta K) dt = 0 \quad (12)$$

$$\delta U = \int_0^L \int_A \sigma_x \delta \epsilon_x dA dx \quad (13)$$

$$\delta V = - \int_0^L q \delta w dx \quad (14)$$

$$\delta K = \int_0^L \int_A \rho(z) (\dot{u} \delta u + \dot{w} \delta w) dA dx \quad (15)$$

Denklem 13, 14 ve 15 Denklem 12’de yerine yazılır. İntegraller alındıktan sonra δu ve δw ’nin katsayıları bir araya toplandığında Denklem 16-17 elde edilir.

$$\delta u: \frac{dN}{dx} = 0 \quad (16)$$

$$\delta w: \frac{d^2 M}{dx^2} = I \frac{d^2 w}{dt^2} \quad (17)$$

Eksenel kuvvet (N) ve eğilme momenti (M) Denklem 18-19’da verilmiştir.

$$N = \int_A \sigma_x dA \quad (18)$$

$$M = \int_A z \sigma_x dA \quad (19)$$

Atalet ifadesi Denklem 20’deki gibi tanımlanmıştır.

$$I = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \rho(z) dz \quad (20)$$

Kuvvet ve moment bileşenleri Denklem 21’de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} N \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{du}{dx} \\ -\frac{d^2 w}{dx^2} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Rijitlik matrisi katsayıları Denklem 22’de tanımlanmıştır.

$$\{A, B, D\} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \{1, z, z^2\} Q_{11} dz \quad (22)$$

Kuvvet ve moment bileşenleri Denklem 16-17’de yerlerine yazılarak sistemin hareket denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A \frac{d^2 u}{dx^2} - B \frac{d^3 w}{dx^3} = 0 \quad (23)$$

$$\left(D - \frac{B^2}{A} \right) \frac{d^4 w}{dx^4} = I \frac{d^2 w}{dt^2} \quad (24)$$

Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişin serbest titreşiminde yer değiştirme bileşenleri Denklem 25-26’daki gibi kabul edilebilir:

$$u(x, t) U e^{i\omega t} \quad (25)$$

$$w(x, t) W e^{i\omega t} \quad (26)$$

Yer değiştirme bileşenleri hareket denklemlerinde yerlerine yazılarak zamana bağlı türevler alındığında denklem aşağıdaki şekli almıştır.

$$\frac{d^4 w}{dx^4} - \lambda^4 w = 0 \quad (27)$$

$$\lambda^4 = \left(\frac{A I \omega^2}{AD - B^2} \right) \quad (28)$$

Bu denklemin genel çözümü

$$w(x) = A_1 \sin \lambda x + A_2 \cos \lambda x + A_3 \sinh \lambda x + A_4 \cosh \lambda x \quad (29)$$

olarak bulunur. Buradan

$$u(x) = \frac{B}{A} (A_1 \lambda \cos \lambda x - A_2 \lambda \sin \lambda x + A_3 \lambda \cosh \lambda x + A_4 \lambda \sinh \lambda x) + A_5 x + A_6 \quad (30)$$

elde edilir. Eksenel yer değiştirme U, dikine yer değiştirme V, dönme θ , eksenel kuvvet N, moment M ve kesme kuvveti Q’nun uygunluk şartlarına göre sürekliliği göz önüne alınarak aşağıdaki gibi bir ilişki yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} U(L) \\ V(L) \\ \theta(L) \\ N(L) \\ M(L) \\ Q(L) \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} U(0) \\ V(0) \\ \theta(0) \\ N(0) \\ M(0) \\ Q(0) \end{Bmatrix} \quad (31)$$

Burada T transfer matrisidir ve katsayıları Denklem 32'deki gibidir.

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{B}{A} \lambda \cos \lambda x & -\frac{B}{A} \lambda \sin \lambda x & \frac{B}{A} \lambda \cosh \lambda x & \frac{B}{A} \lambda \sinh \lambda x & x & 1 \\ \sin \lambda x & \cos \lambda x & \sinh \lambda x & \cosh \lambda x & 0 & 0 \\ \lambda \cos \lambda x & -\lambda \sin \lambda x & \lambda \cosh \lambda x & \lambda \sinh \lambda x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A & 0 \\ \left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^2 \sin \lambda x & \left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^2 \cos \lambda x & -\left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^2 \sinh \lambda x & -\left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^2 \cosh \lambda x & B & 0 \\ \left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^3 \cos \lambda x & -\left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^3 \sin \lambda x & -\left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^3 \cosh \lambda x & -\left(D - \frac{B^2}{A}\right) \lambda^3 \sinh \lambda x & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişin sınır koşulları, x=0 ve L değerlerini almak üzere

Basit (B) destek için,

$$U(x) = W(x) = M(x) = 0 \quad (33)$$

Ankastre (A) destek için,

$$U(x) = W(x) = \theta(x) = 0 \quad (34)$$

Serbest uç (S) için,

$$N(x) = M(x) = Q(x) = 0 \quad (35)$$

Sınır koşulları uygunluk denkleminde yerine yazıldığında doğal frekansları içeren öz değer denklemleri elde edilir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Table 1. Material properties

Malzeme Özelliği	Metal (Al)	Seramik (Al ₂ O ₃)
Elastiklik Modülü, E(GPa)	70	380
Yoğunluk, ρ(kg/m ³)	2702	3960
Poisson Oranı, ν	0.3	0.3

Literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırma yapabilmek için doğal frekans değerleri aşağıda verilen boyutsuzlaştırma ifadesi ile verilmiştir.

$$\bar{\omega} = \omega \frac{L^2}{h} \sqrt{\frac{\rho_m}{E_m}} \quad (36)$$

Sandviç kirişin yüzey tabakaları ve öz kalınlık oranları simetrik ve antisimetrik olarak Tablo 2'deki gibi tanımlanmıştır.

Tablo 2. Yüzey tabakası – öz tabakası kalınlık oranları

Table 2. The face sheets-core thickness ratios

Kalınlık Oranı	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄
1-1-1	-h/2	-h/6	h/6	h/2
1-2-1	-h/2	-h/4	h/4	h/2
2-1-2	-h/2	-h/10	h/10	h/2
2-1-1	-h/2	0	h/4	h/2
2-2-1	-h/2	-h/10	3h/4	h/2
1-8-1	-h/2	-2h/5	2h/5	h/2

Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş yüzey tabakalı sandviç kirişlerin titreşim analizi transfer matris yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sayısal sonuçların elde edilmesinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo3. Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin boyutsuz doğal frekans değerleri ($L/h=20$)

Table 3. The natural frequencies of functionally graded sandwich beams

Kalınlık oranları	k	Referans	A-A	B-A	B-B	A-S
1-1-1	0	[14]	12.4145	8.5560	5.4780	1.9525
		Bu çalışmada	12.4311	8.5661	5.4835	1.9537
	1	[14]	9.1575	6.3110	4.0405	1.4405
		Bu çalışmada	9.1684	6.3178	4.0442	1.4409
	10	[14]	6.7305	4.6385	2.9700	1.0585
		Bu çalışmada	6.7382	4.6432	2.9723	1.0590
1-2-1	0	[14]	12.4145	8.5560	5.4780	1.9525
		Bu çalışmada	12.4311	8.5661	5.4835	1.9537
	1	[14]	9.7410	6.7135	4.2980	1.5320
		Bu çalışmada	9.7526	6.7204	4.3020	1.5327
	10	[14]	7.5815	5.2250	3.3455	1.1925
		Bu çalışmada	7.5903	5.2304	3.3482	1.1929
2-2-1	0	[14]	12.4145	8.5560	5.4780	1.9525
		Bu çalışmada	12.4311	8.5661	5.4835	1.9537
	1	[14]	9.4480	6.5195	4.1690	1.4860
		Bu çalışmada	9.4594	6.5270	4.2035	1.4866
	10	[14]	7.1750	4.9740	3.1660	1.1285
		Bu çalışmada	7.1833	4.9792	3.2773	1.1289

Tablo 3'te yüzey tabakası - öz kalınlık oranlarının farklı değerleri için fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin boyutsuz doğal frekans değerleri farklı sınır koşulları ve hacimsel değişim üsteli k 'nın 0, 1 ve 10 değeri için verilmiştir.

Tablo 4'te fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin farklı kalınlık oranı ve hacimsel değişim üsteli değerleri için boyutsuz doğal frekansları verilmiştir. Hacimsel değişim üsteli k değeri arttıkça sandviç kirişin yüzey tabakalarının metalik özelliği artmakta ve elastiklik modülü azalmaktadır. Bunun sonucu olarak tüm sınır koşulları için hacimsel değişim üsteli değeri arttıkça boyutsuz doğal frekans değerinin düştüğü görülmektedir. Her bir kalınlık oranı için en yüksek boyutsuz doğal frekans değeri iki tarafı ankastre mesnetli kirişte elde edilirken, en düşük boyutsuz frekans değerleri bir

ucu ankastre diğer ucu serbest olan kirişte edilmiştir. Sandviç kirişin özü seramik malzeme olarak tanımlandığı için öz kalınlığı / yüzey tabakası kalınlığı oranı arttıkça doğal frekans değerleri yükselmektedir.

Tablo 5'te öz - yüzey tabakası kalınlık oranlarına göre simetrik ve anti simetrik fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin ilk üç titreşim modu için boyutsuz doğal frekans değerleri verilmiştir.

Şekil 3'te yüzey tabaka kalınlığının öz kalınlığına oranı 1-2-1 olan sandviç kirişin ilk üç doğal modu için boyutsuz doğal frekans değerlerinin hacimsel değişim üsteli k ile değişimi farklı sınır koşulları için verilmiştir. Her üç mod için en yüksek boyutsuz frekans değerleri iki ucu ankastre kirişte görülürken, en düşük frekans değerleri bir ucu ankastre diğer ucu serbest olan kirişte elde edilmiştir. Tüm sınır

Tablo 4. Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin boyutsuz doğal frekans değerleri
 Table 4. The natural frequencies of functionally graded sandwich beams ($L/h=10$)

Kalınlık oranları	k	A-A	B-A	B-B	A-S
1-2-1	0	12.43048	8.56649	5.48339	1.95363
	1	9.75214	6.72070	4.30191	1.53269
	2	8.81214	6.07290	3.88725	1.38496
	5	7.93507	5.46847	3.50035	1.24711
	10	7.58994	5.23062	3.34811	1.19287
2-1-2	0	12.43048	8.56649	5.48339	1.95363
	1	8.81253	6.07317	3.88742	1.38502
	2	7.60421	5.24046	3.35440	1.19511
	5	6.65853	4.58874	2.93724	1.04649
	10	6.40351	4.41299	2.82474	1.00640
1-8-1	0	12.43048	8.56649	5.48339	1.95363
	1	11.20165	7.71964	4.94132	1.76050
	2	10.77851	7.42803	4.75466	1.69400
	5	10.36090	7.14023	4.57044	1.62837
	10	10.17705	7.01353	4.48935	1.59947
2-2-1	0	12.43048	8.56649	5.48339	1.95363
	1	9.45890	6.52659	4.20315	1.48660
	2	8.42091	5.81896	3.77379	1.32347
	5	7.50502	5.19715	3.40489	1.17952
	10	7.18296	4.97919	3.27701	1.12891
2-1-1	0	12.43048	8.56649	5.48339	1.95363
	1	9.04261	6.24189	4.02761	1.42118
	2	7.89871	5.46283	3.55745	1.24140
	5	6.99261	4.84773	3.19216	1.09899
	10	6.74019	4.67582	3.08772	1.05932

koşulları için, her üç mod için hacimsel değişim üsteli k 'nın değeri arttıkça frekans değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Şekil 4'te iki ucu ankastre mesnetlenmiş farklı öz-yüzey tabakası kalınlık oranlarına sahip sandviç kirişlerin boyutsuz doğal frekanslarının hacimsel değişim üsteli k ile değişimi verilmiştir. Hacimsel değişim üsteli k 'nın tüm değerleri için öz kalınlığı/ yüzey tabakası kalınlığı oranı en düşük olan 2-1-2 tipi kirişin doğal frekans değerleri en düşükken, öz kalınlığının artmasıyla

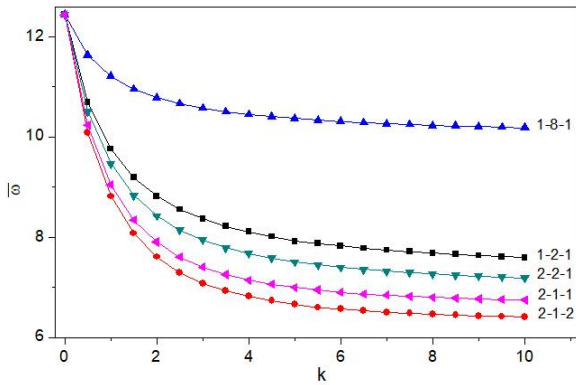
kirişin elastiklik modülü yükseldiğinden öz tabakasının oldukça kalın olduğu 1-8-1 tipi kirişte doğal frekans değerleri en büyüktür. Hacimsel değişim üsteli k 'daki artış ile birlikte tüm kiriş tipleri için doğal frekans değerleri düşmektedir.

Şekil 5'te farklı sınır koşulları için uzunluk-kalınlık oranı $L/h=20$ ve hacimsel değişim üsteli $k=10$ değeri için 1-2-1 tipi sandviç kirişin ilk üç titreşim modu için mod şekilleri verilmiştir.

Tablo 5. Fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin ilk üç titreşim modu için boyutsuz doğal frekans değerleri

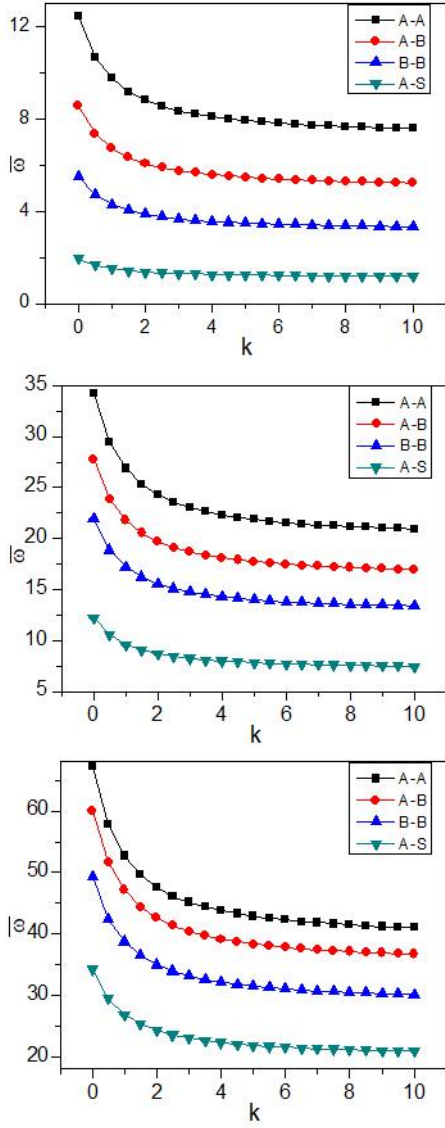
Table 5. First three natural frequencies of functionally graded sandwich beams

Kalınlık oranları	k	Mod	A-A	B-A	B-B	A-S
1-2-1	0	1	12.4311	8.5661	5.4835	1.9537
		2	34.2714	27.7708	21.9393	12.2519
		3	67.1764	60.0916	49.3631	34.2886
	1	1	9.7526	6.7204	4.3020	1.5327
		2	26.8871	21.7872	17.2121	9.61203
		3	52.7022	47.1439	38.7270	26.9006
	10	1	7.5903	5.2304	3.3482	1.1929
		2	20.9258	16.9566	13.3959	7.4809
		3	41.0173	36.6914	30.1407	20.9364
2-2-1	0	1	12.4145	8.5661	5.4780	1.9525
		2	34.2714	27.7708	21.9393	12.2519
		3	67.1754	57.9390	49.3631	34.2886
	1	1	9.4480	6.7204	4.1690	1.4860
		2	39.2701	21.1320	16.6946	9.3230
		3	51.1175	44.0883	37.5944	26.0917
	10	1	7.1750	5.2304	3.2773	1.1289
		2	19.8037	16.0746	12.6776	7.0798
		3	38.8180	33.5063	28.6335	19.8137



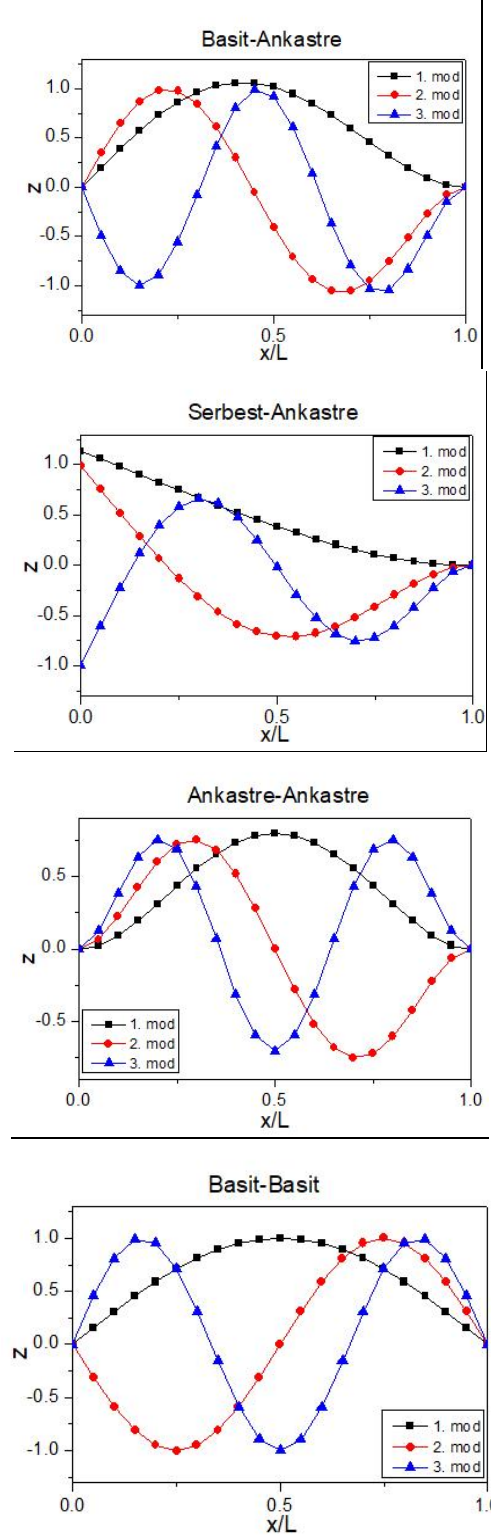
Şekil 3. Farklı kalınlık oranlarına sahip iki ucu ankastre sandviç kirişlerin doğal frekanslarının hacimsel değişim üsteli ile değişimi

Figure 3. Variations of the frequencies of clamped-clamped sandwich beams with different thickness ratios corresponding volume fraction coefficient



Şekil 4. 1-2-1 oranlı sandviç kirişin ilk üç titreşim modu için doğal frekanslarının hacimsel değişim üsteli ile değişimi

Figure 3. Variation of first three natural frequencies of 1-2-1 type sandwich beams corresponding volume fraction coefficient



Şekil 5. 1-2-1 tipi sandviç kirişin farklı sınır koşulları için ilk üç titreşim modu

Figure 5. First three natural frequencies of 1-2-1 type sandwich beams for various boundary conditions

Sonuçlar

Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin titreşim analizi Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak yapılmıştır. Üstel bir fonksiyona bağlı olarak değişen malzeme etkin özellikleri karışımlar kuralı ile tanımlanmıştır. Hareket denklemlerinin elde edilmesinde sanal iş ilkesinden yararlanılmış ve farklı sınır koşulları için elde edilen öz değer problemi transfer matris metodu ile çözülmüştür. Sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Farklı tipte sandviç kirişler incelendiğinde öz kalınlığı/ yüzey tabakası kalınlığı oranı en düşük kirişin doğal frekans değerlerinin en düşük olduğu bulunurken, öz kalınlığının artmasıyla kirişin elastiklik modülü yükseldiğinden öz tabakası kalınlığı arttıkça doğal frekans değerlerinin arttığı görülmüştür. Hacimsel değişim üsteli k' nın artması ile yüzey tabakalarının metalik özellikleri artmakta ve bundan dolayı elastik modülleri düşmektedir. Bu nedenle tüm kiriş tipleri için hacimsel değişim üstelinin artması ile doğal frekans değerleri azalmaktadır.

Kaynaklar

- [1] T.K. Nguyen and B.D. Nguyen, "New higher-order shear deformation theory for static, buckling and free vibration analysis of functionally graded sandwich beams," *Journal of Sandwich Structures and Materials*, vol. 17, no 6, pp. 613–63, 2015. <https://doi.org/10.1177/1099636215589237>
- [2] Pınar Aydan Demirhan, "Fonksiyonel Derecelendirilmiş Sandviç Kiriş Ve Plakların Dört Değişkenli Kayma Deformasyon Teorisi İle Eğilme Ve Titreşim Analizi", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2016.
- [3] X.F. Li, "A unified approach for analyzing static and dynamic behaviors of functionally graded Timoshenko and Euler–Bernoulli beams," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 318, pp. 1210–1229, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.04.056>
- [4] S.A. Sina, H.M. Navazi and H. Haddadpour, "An analytical method for free vibration analysis of functionally graded beams," *Materials and Design*, vol. 30, pp. 741–747, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.05.015>
- [5] T.P. Vo, H.T. Thai, T.K. Nguyen, A. Maheri and J. Lee, "Finite element model for vibration and buckling of functionally graded sandwich beams based on a refined shear deformation theory," *Engineering Structures*, vol. 64, pp. 12–22, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.01.029>
- [6] T.P. Vo, H.T. Thai, T.K. Nguyen, F. Inam and J. Lee, "A quasi-3D theory for vibration and buckling of functionally graded sandwich beams," *Composite Structures*, vol. 119, pp. 1–12, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.08.006>
- [7] N. Wattanasakulpong and V. Ungbhakorn, "Linear and nonlinear vibration analysis of elastically restrained ends FGM beams with porosities," *Aerospace Science and Technology*, vol. 32, pp. 111–120, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2013.12.002>
- [8] N. Wattanasakulpong and A. Chaikittiratana, "Flexural vibration of imperfect functionally graded beams based on Timoshenko beam theory: Chebyshev collocation method," *Meccanica*, vol. 50, pp.1331–1342, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s11012-014-0094-8>
- [9] T.K. Nguyen, T.T.P. Nguyen, T.P. Vo and H.T. Thai, "Vibration and buckling analysis of functionally graded sandwich beams by a new higher-order shear deformation theory," *Composites Part B*, vol. 76, pp. 273–285, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.02.032>
- [10] T.K. Nguyen, T.P. Vo, B.D. Nguyen and J. Lee, "An analytical solution for buckling and vibration analysis of functionally graded sandwich beams using a quasi-3D shear deformation theory," *Composite Structures*, vol. 156, pp. 238–252, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.11.074>
- [11] A.I. Osofero, T.P. Vo, T.K. Nguyen and J. Lee, "Analytical solution for vibration and buckling of functionally graded sandwich beams using various quasi-3D theories," *Journal of Sandwich Structures and Materials*, Vol. 18, no 1, pp. 3–29, 2018. <http://dx.doi.org/10.1177/1099636215582217>
- [12] S. Kitipornchai, D. Chen and J. Yang, "Free vibration and elastic buckling of functionally graded porous beams reinforced by graphene platelets," *Materials and Design* vol. 116, pp. 656–665, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.12.061>
- [13] M. Boiangiu, V. Ceausu, C.D. Untaroiu, "A transfer matrix method for free vibration analysis of Euler-Bernoulli beams with variable cross section," *Journal of Vibration and Control*, vol.22, no.11, pp. 2591–2602, 2014. <https://doi.org/10.1177/1077546314550699>
- [14] L.C. Trinh, T.P. Vo, A.I. Osofero and J. Lee, "Fundamental frequency analysis of functionally graded sandwich beams based on the state space approach," *Composite Structures*, vol. 156, pp. 263–275, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.11.010>
- [15] P.A. Demirhan and V. Taskin, "Levy solution for bending analysis of functionally graded sandwich plates based on four variable plate theory,"

- Composite Structures, vol. 177, pp. 80–95, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.048>
- [16] P.A. Demirhan and V. Taskin, “Static analysis of simply supported functionally graded sandwich plates by using four variable plate theory,”, *Teknik Dergi*, vol. 30, no 2, pp. 8987-9007, 2019a.
<https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.396672>
- [17] P.A. Demirhan and V. Taskin, “Bending and free vibration analysis of Levy-type porous functionally graded plate using state space approach,”, *Composites Part B*, vol. 160, pp. 661–676, 2019b.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.020>
- [18] X. Li, L. Li, Y. Hu, Z. Ding and W. Deng, “Bending, buckling and vibration of axially functionally graded beams based on nonlocal strain gradient theory,”, *Composite Structures*, vol. 165, pp. 250–265, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.032>
- [19] Y.S. Al Rjoub and A.G. Hamad, “Free vibration of functionally euler-bernoulli and timoshenko graded porous beams using the transfer matrix method,”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 21, no 3, pp.792-806, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0149-6>
- [20] V. Kahya and M. Turan, “Vibration and stability analysis of functionally graded sandwich beams by a multi-layer finite element,”, *Composites Part B*, vol. 146, pp.198–212, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.04.011>
- [21] M. Şen, M. Hüseyinoğlu, “Investigation of the Effects of Polyurethane Foam Reinforcement Thickness on Modal Properties of Sandwich Beams”, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no.1, pp. 511-517, 2018.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/msufbd/issue/37908/438101>
- [22] M. Hüseyinoglu, T. Abut, “İki Ucu Ankastre U Çerçeve Yapının Modal Analizi”, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 7, pp.657-665, 2019. <https://doi.org/10.18586/msufbd.637678>.
- [23] M. Hüseyinoğlu, M. Şen, O. Yiğid, O. Çakar, “Dynamic Analysis of Uniform and Non-Uniform Cross-Section Cantilever Sandwich Beams”, *European Journal of Technique (EJT)*, vol. 9, no.2, pp. 286-297, 2019.
<https://doi.org/10.36222/ejt.632784>



Terra Rossa oluşumlarının CBS uygulamaları ile değerlendirilmesi, Akseki (Antalya) örneği

Ali İSKENDEROĞLU*

Sayıştay Başkanlığı, ANKARA

ali.iskenderoglu@gmail.com ORCID: 0000-0002-5869-9737, Tel: (312) 2952885

Geliş: 27.02.2019, Revizyon: 16.03.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Bu çalışmada, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Akseki (Antalya) ilçesi çevresinin karbonatlı platformlarında oluşmuş Terra Rossalar CBS ortamında araştırılmıştır. Bu çalışmada, sahaya ait tüm vektörel ve raster sayısal veriler, CBS yazılımı ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. CBS uygulamalarına yönelik yazılım ortamında sahaya ait jeoloji, topografya, ziraat ve imar-iskan alanlarının sayısal verileri hem analiz yapılmış hem de birlikte değerlendirilerek güncel uydu haritalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bir yandan sahanın topoğrafik verileriyle eğim analizleri yapılmış, öte yandan da sahanın jeolojisine ait formasyonlar dikkate alınarak karbonatlı platform oluşumları ortaya konmuştur. Alüvyonlar, imar-iskan alanları hariç 14688 hektar alan karbonatlı platform bulunmuştur. Güncel uydu görüntüleriyle karbonatlı platformlar üzerinde eğimi %0-%55 arasında toplam 1292 hektar alan Terra Rossa oluşumları tespit edilmiştir. Eğimi %55'den büyük 1640 hektar karbonatlı platformlarda ise Terra Rossa oluşumları izlenmemiştir. Terra Rossa oluşumları en çok grabenlerde yer alan Paleosen-Eosen yaşlı konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, ve marn ile nummulitli kireçtaşları, killi-kumlu kireçtaşı ardalanmalarıyla oluşan İbradı grubu kayalarda izlenmiştir. Terra Rossa oluşumlarının 1164 hektarı ziraatte kullanılmakta geriye kalan 128 hektar alan ise kullanılmayan Terra Rossa oluşumları olarak bulunmuştur. Kullanılmayan Terra Rossa oluşumları ziraatte kullanılan Terra Rossa oluşumlarının %11'ni oluşturmaktadır. Potansiyel Terra Rossa oluşum alanının %10'da Terra Rossa oluşmuştur. Kullanılmayan Terra Rossa oluşumları; amenajman planlamalarında, yöreye özgü bağcılık, hayvancılıkta (küçükbaş ve arıcılık dahil) ve ağaçlandırma alanları olarak kullanılabilirler. Terra Rossa oluşumları içerdikleri demiroksit mineralleri sebebiyle uzaktan algılama yöntemleri ile daha detaylı olarak araştırılabilirler.

Anahtar Kelimeler: CBS, CBS analizleri, Jeoloji, Terra Rossa,

*Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bilgisayar tabanlı bir araç olarak kabul edilmekte; karmaşık planlama, sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların çözümü için mekânsal olarak farklı disiplinleri bir araya getirerek bir harita üzerinde konumsal bilgiyi sorgulayan, depolayan, yöneten, modelleyen ve gösteren yeni bir disiplini temsil etmektedir. Amaç, konuma dayalı verileri tüm insanların paylaşabileceği profesyonel bir bilgi sistem ağı haline getirmektir. Farklı kaynaklardan gelen ve farklı CBS yazılımları ile kullanılan verilerin, birlikte çalışabilir olması ve uygun formata dönüştürülebilmesi halen sorunları beraberinde taşımaktadır.

CBS, ülkemizde 1990 yılların ikinci yarısında kullanılmaya başlanmış ve son yıllarda da yaygınlaşmıştır. CBS'den belediye faaliyetlerinde, ulaşım planlamasında, doğal kaynak yönetiminde, mülki-idari yönetiminde, bayındırlık hizmetlerinde, sağlık sektöründe, ticaret ve sanayide, ziraatte, ormancılıkta, savunma ve güvenlikte, iletim hatlarında, kazı-dolgu çalışmalarında, akıllı harita üretiminde, alan planlamasında, envanter çalışmalarında faydalanılmaktadır. Ayrıca modellemelerde, senaryo ve trend analizlerinde, üç boyutlu arazi analizlerinde (Rüstemov, 2014; Kavzoğlu vd., 2014; Sahana vd., 2018), hiyerarşik sistem ile en iyi yer ve hat bulmada, risk yönetiminde (Shariff, 2006; Töreay vd. 2010; Kahraman ve Ünsal, 2014; Çabuk, 2015), uygun habitatların belirlenmesinde (Zlinszky vd., 2015; Hayes vd., 2018) ve deprem risk analizlerinde (İskenderoğlu vd., 2003; Nur vd., 2018) son 15 yıldır yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Uydu teknolojisi ile CBS'nin entegrasyonu artık yeryüzündeki doğal ve yapay kaynakların çok daha verimli yönetilmesine neden olmuştur. GPS teknolojisi ile uydulardan alınan yüksek hassasiyete sahip konum bilgileri, yine uydulardan alınan fotoğraflarla artık çok hızlı bir şekilde birleştirilip, veri toplama külfeti ve zamanını önemli ölçüde azaltmıştır. Hızlı bir şekilde toplanabilen verilerin artık çok hızlı bir

şekilde de analiz edilip ihtiyaç duyulan uygun formlarda kullanıcıya sunulması gerekmektedir. Bütün bunlar sadece teknolojik değil, top yekün bir yeniden yapılanma ve sistem bütünlüğü gerektirir (Yomralıoğlu, 2009).

1960'lerden sonra hava fotoğraflarına uzay fotoğrafları, radar, termal kızılötesi görüntüler ve uzaktan algılama metodlarının eklenmesiyle uygulama alanları büyük ölçüde genişlemiştir.

Uzaktan algılama günümüzde yeryüzünün incelenmesi ile ilgili bütün konularda araştırmacıların hizmetindedir. Uzaydan elde edilen verilerin dönemsel olarak devamlı yeryüzüne ulaşması araştırmacılar için veri kaynağını daha güvenilir ve ucuz olmasını sağlamıştır. Uzaydan elde edilen görüntülerin istenilen ayrıntı ve kaliteye ulaşmış olması bunlardan elde edilecek sonuçların güvenilirliğini de artırmaktadır. Bütün bu olumlu yanlarına ek olarak bilgisayarların analiz ve yorumda kullanılabilmesi doğal kaynakların değerlendirilip planlanmasına hız kazandırmıştır.

Literatürde, Terra Rossa oluşumları farklı yönlerden ele alınarak farklı teoriler ile tanımlanmıştır. Terra Rossaların oluşum veya kökeni, mineraloji ve ağır metal jeokimyası gibi farklı bir bakış açısıyla incelenmiştir (Delgado vd., 2003; Lucke vd., 2014; Fedoroff ve Courty, 2013; Bellanca vd., 1996). Aslında bu masif zonu yüzde olarak düşük alümina içeriğine sahiptir. Ancak geçmişte uzun zamanda ayrışma koşulları, bu toprakların alümina içeriğini artırmıştır. Terra Rossa oluşumlarındaki silis miktarı geçirgenliğini ve gözenekliliğini arttırmakta ve bu durum bağcılık potansiyelini olumlu yönde etkilemektedir (Bellance vd., 1996; Yalçın ve İlhan, 2008). Türkiye'de Akdeniz iklim kuşağında görülen Terra Rossa oluşumlarında kil mineralleri önemli ölçüde toprağın A katmanında birikmektedir (Haktanır, 2012). Organik madde bakımından fazla zengin olmayan bu topraklarda, turunçgil, bağcılık ve zeytin tarımı yapılmaktadır. Akdeniz iklim kuşağında Terra Rossa'lar genellikle mera ve zeytinlik olarak kullanılmaktadırlar (Güçlü, 2000). Boero ve Schwertmann (1989)'e göre;

kırmızı Akdeniz toprakları için tamamlayıcı özellik olarak bilinen bu kırmızı renk toprakta götit yerine hematit mineralinin baskın olmasından kaynaklanmaktadır.

Karbonatlı kayalardan boksit oluşumu için gerekli olan ayrışma ürününün tüm Toros kuşağındaki karbonatlı kayalar üzerinde yaygın olarak gözlenen ve halen günümüzde de oluşumları devam eden Terra-Rossaların olduğu söylenebilir (Karadağ vd., 2006).

Terra Rossa oluşumları dünyada birkaç kıtada ve birçok adada Karayipler ve batı Atlantik, Akdeniz ve Pasifik'te bulunurlar. Bu görsel olarak dikkat çekici Terra Rossaların kökeni yıllardan beri tartışma konusudur (Mush ve Budahn, 2007), Türkiye'de ise genel olarak Akdeniz ikliminin etkili olduğu Marmara Bölgesinin güney kesimi, Ege Bölümü ile Akdeniz Bölgesinde görülür (Ünal, 2011).

Akdeniz iklim kuşağında Terra Rossa oluşum alanlarının ortaya konmasına yönelik tüm işlemler sayısal olarak (vektörel ve raster) CBS yazılım uygulama analizleriyle yapılmıştır. Sayısal tabanlı analizler güncel uydu görüntüleri ile de karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma; Akdeniz iklim kuşağında karbonatlı platformlarda Terra Rossa oluşum alanlarının CBS, topografya, jeoloji, ziraat, imar-iskan alanları gibi farklı disiplinler ve güncel uydu görüntüleri ile belirlenmesine odaklanmıştır.

Materyal ve Metot

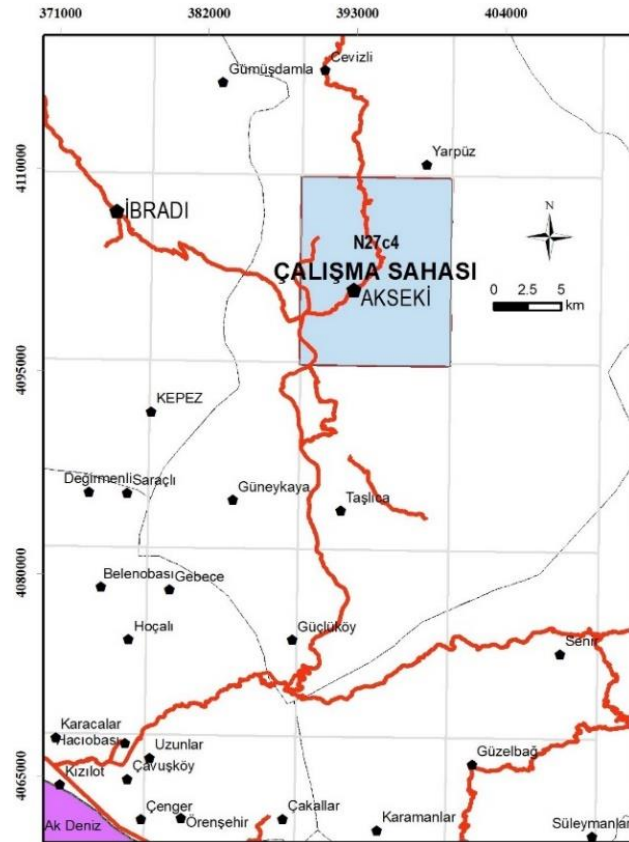
Araştırma alanının tanımı

Çalışma sahasının seçilmesinde öncelikle Terra Rossa oluşum ortamları dikkate alınmıştır. Terra Rossa oluşumlarının yaygın olduğu Akdeniz iklim kuşağında, jeolojik olarak uygun ve yeterli karbonat platformu ile horst-graben havzalar, yoğun kırık ve çatlak sistemleri, karstik dolin, çukur, düzlüklerin varlığı belirleyici rol oynamıştır.

Çalışma sahası olarak, Batı-Orta Toroslar'da Akseki'nin (Antalya) içinde yer aldığı alan ve çevresi olarak belirlenmiştir (Şekil 1a ve Şekil 1b).



Şekil 1a. Çalışma sahasının konumu



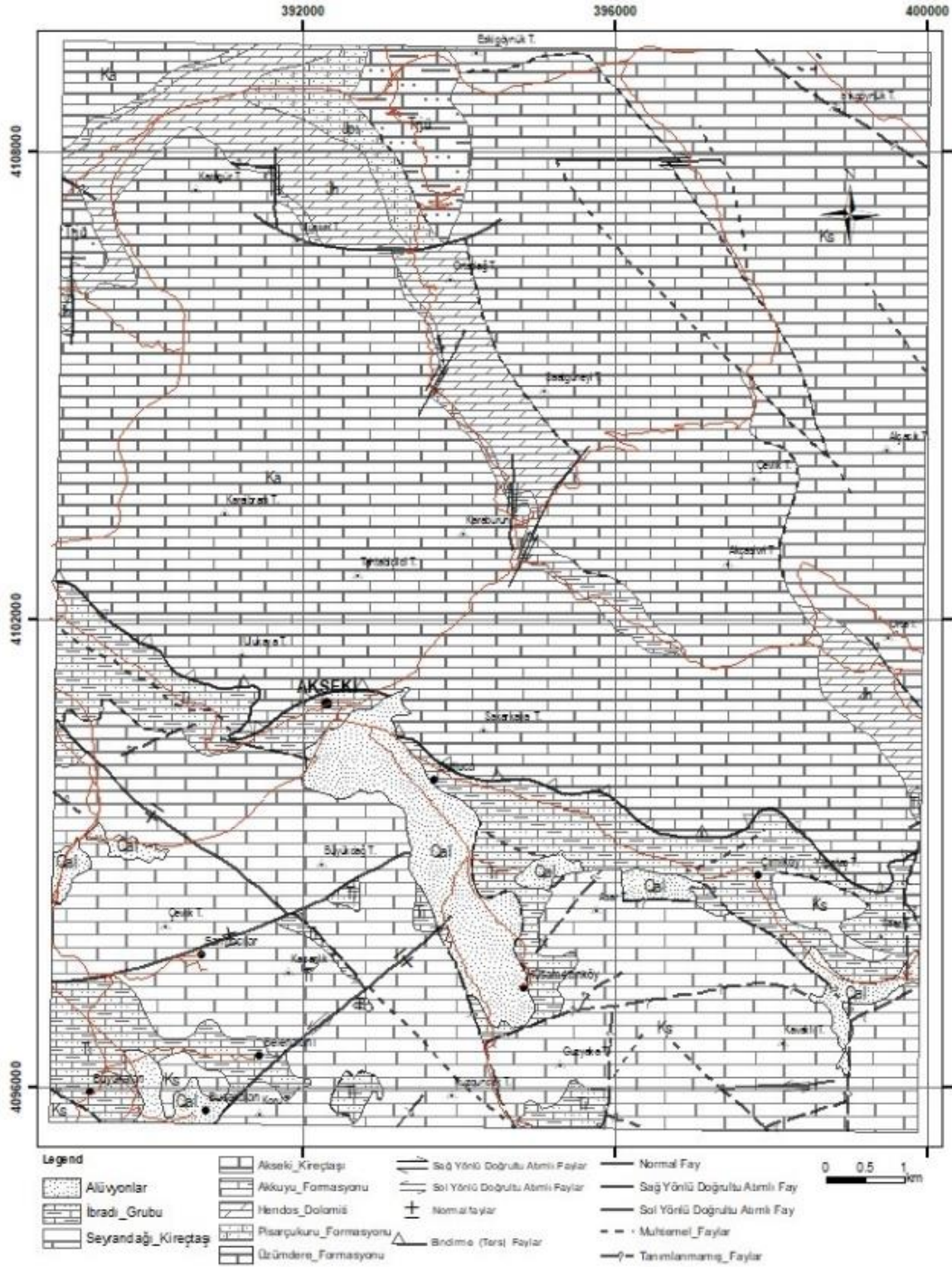
Şekil 1b. Çalışma sahasının yer aldığı pafta ve kullanım

Çalışma sahasının 1:25000 ölçekli pafta bazında seçilmesi, işlemlerin hem sistemli hem de takibi daha kolay olacağı düşünülmüştür.

Araştırma alanının jeolojisi

Çalışma sahasında yer alan birim ve formasyonlar MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan 100.000 ve 25.000 ölçekli jeolojik çalışmalar (Metin, 1990; Bulduk, 1991; Şenel ve

Ekmekçi, 2016) esas alınarak alttan üstte doğru aşağıda verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma sahasının jeolojisi (Metin, 1990; Bulduk, 1991; Şenel ve Ekmekçi, 2016'dan kısmi değişiklik yapılmış)

Üzümdere formasyonu (Trjü); konglomera, kumtaşı, kıltaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmuştur. Resiyen-Erken Liyas yaşlıdır (Ziegler, 1938; Şenel vd., 1992; Şenel ve Ekmekçi, 2016).

Pisarçukuru formasyonu (Jpi), Üzümdere formasyonu üzerine geçişli olarak gelmektedir. Orta-kalın tabakalı, bej-gri-kirli sarı-sarımsı kahve renklerde kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, oolitleli-pelletli kireçtaşı ve onkoidli kireçtaşlarından neritik ortamda oluşmuş olan formasyon Liyas yaşlıdır (Demirtaşlı, 1979; Şenel ve Ekmekçi, 2016).

Hendos dolomiti (Jh), Pisarçukuru formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Koyu gri-gri-kahve-siyah renkli, orta-kalın tabakalı yer yer masif görünümlü, erime boşluklu, çatlaklı, çatlakları kalsit dolgulu, yersel ince genelde iri kristalli dolomitlerden oluşmuş oluşmuş olan birim Liyas yaşlıdır (Demirtaşlı, 1979; Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1998; Ekmekçi, 1993).

Akkuyu formasyonu (Jak), Hendos dolomiti üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Akseki kireçtaşı ile geçişlidir. Plaket görünümlü yer yer killi kireçtaşlarından oluşmuş olan formasyon Doger-Malm yaşlıdır (Martin, 1969; Monod, 1977; Ekmekçi, 1993).

Akseki kireçtaşı (Ka), Akkuyu formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Seyrandağı kireçtaşı tarafından uyumsuzlukla örtülür. Orta-kalın tabakalı neritik kireçtaşlarından oluşmuş olan birim Erken Kretase yaşlıdır (Demirtaşlı, 1979; Ekmekçi, 1999).

Seyrandağı kireçtaşları (Ks), Akseki kireçtaşı üzerine uyumsuz olarak gelir. Birim, Liyas yaşlı Hendos dolomiti'nin üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. İbradı gurubu tarafından ise uyumsuzlukla örtülür. Masif, orta-kalın tabakalı, grimsi bej, krem, kirli beyaz, açık gri renkli, sert, yer yer rudistli resifal kireçtaşlarından oluşmuş olan birim Geç Kretase yaşlıdır (Demirtaşlı, 1987; Şenel vd., 1998; Ekmekçi, 1999).

İbradı grubu (Ti), Seyrandağı kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Gedikli, Bakalasay ve Çasıryayla formasyonlarını içerir. Konglomera, kumtaşı, siltaşı, kıltaşı, ve marn ile nummulitli kireçtaşları, killi-kumlu kireçtaşı araldanmalarıyla oluşmuş olan grup Geç Paleosen-Orta Eosen yaşlıdır (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1998; Şenel ve Ekmekçi, 2016).

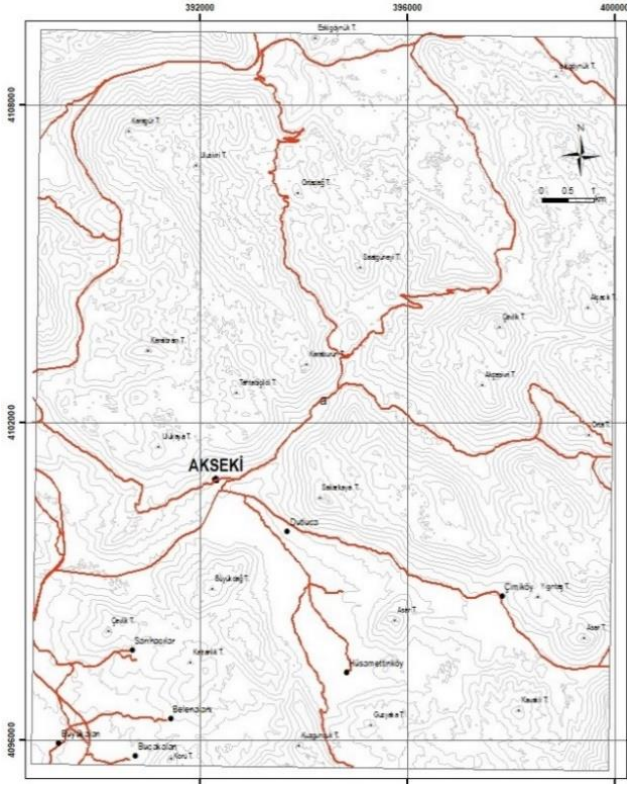
Pliyosen ve Kuvaterner çökelleri olarak alüvyonlar kum, çakıl, silt ve killerden oluşmuştur (Şenel ve Ekmekçi, 2016; Metin, 1990; Bulduk, 1991).

Çalışma sahasında Geç Kretase sonlarında yatay hareketle bir araya gelmiş allokton kütleler, Eosen'de kuzeydoğudan güneydoğuya doğru Anamas-Akseki otoktonu üzerine yerleşmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen sonlarında veya sonrası çeşitli faylanmalar oluşmuştur (Şenel ve Ekmekçi, 2016, Metin, 1990; Bulduk, 1991).

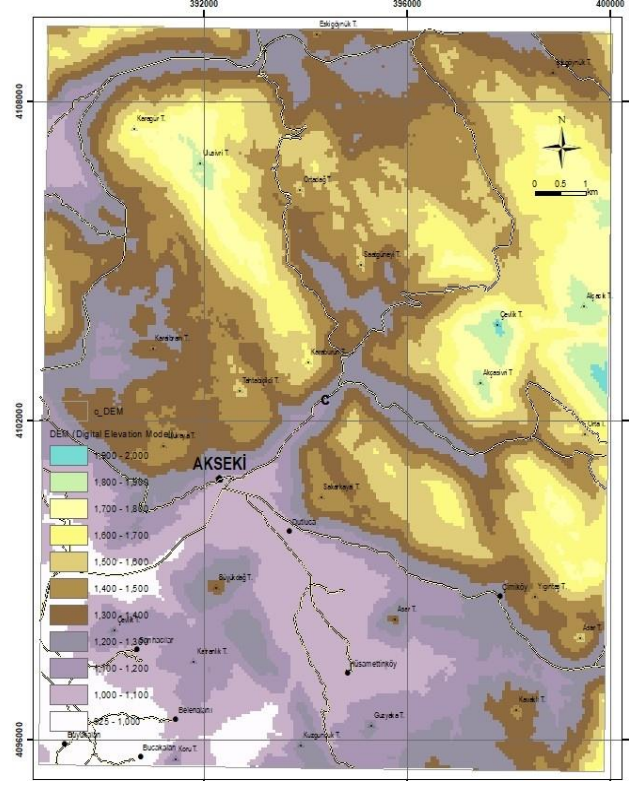
Eğim analizi sonuçları

Akdeniz iklim kuşağında Orta ve Batı Toroslar'da yer alan çalışma sahasında, karbonatlı platformlarda potansiyel Terra Rossa oluşum alanlarına yönelik eğim analizleri yapılmıştır. Bunun için sahanın topoğrafik haritasından yararlanılmıştır. Eğim analizleri için önce sahanın 3 boyutlu TIN (Düzensiz Üçgen Sistemi) yapısı oluşturulmuştur.

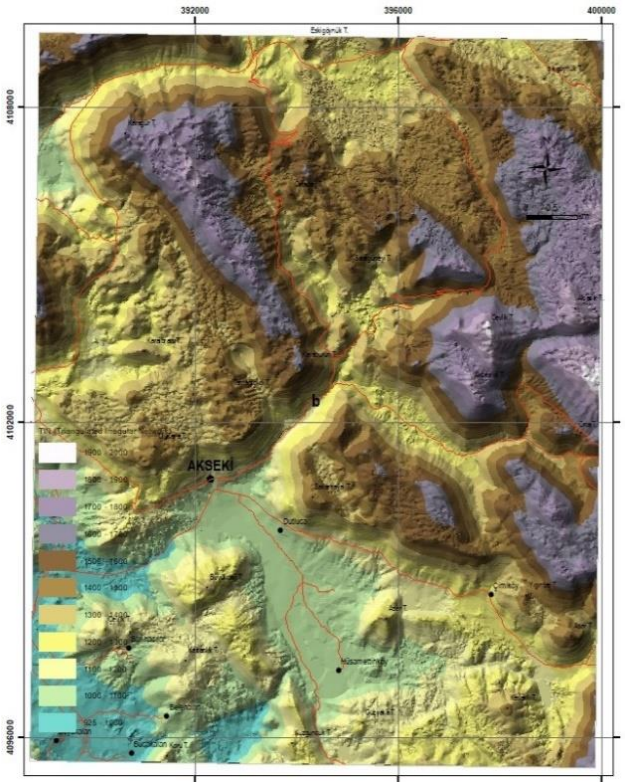
TIN verisi, eğim analizleri için raster verisi olan DEM'e (Sayısal Yükseklik Modeli) dönüştürülmüştür. Raster yüzey DEM verilerinin eğim yüzdeleri kullanılarak eğim analizlerinin modellenmesi yapılmıştır. Veriler sürekli olduğu için yönlü enterpolasyon yöntemi seçilmiştir (Şekil 3a, 3b, 3c ve 3d). Modellenen eğim sınıflamasının alana (poligon) dönüştürülmesi için "Reclassify" kullanılarak yeniden sınıflandırma yapılmıştır. Elde edilen raster veriler, "Raster to Poligon" komutu ile poligona dönüştürülmüş ve eğim alanları hesaplanmıştır (Çabuk vd., 2011; Kıpççı ve Özşeker, 2011).



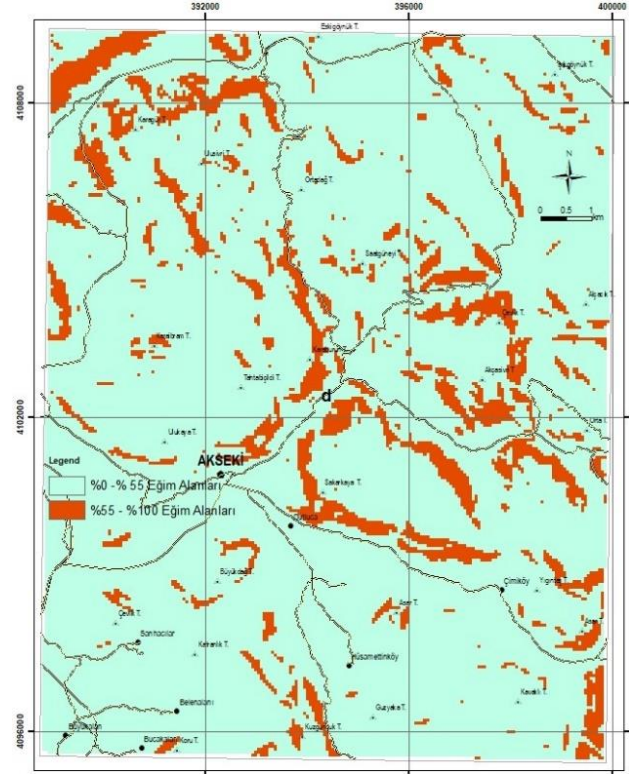
Şekil 3a. Çalışma sahasının topografyası



Şekil 3b. Çalışma sahasının TIN haritası



Şekil 3c. Çalışma sahasının DEM haritası



Şekil 3d. Çalışma sahasının eğim analizi

Terra Rossa oluşumlarının belirlenmesi

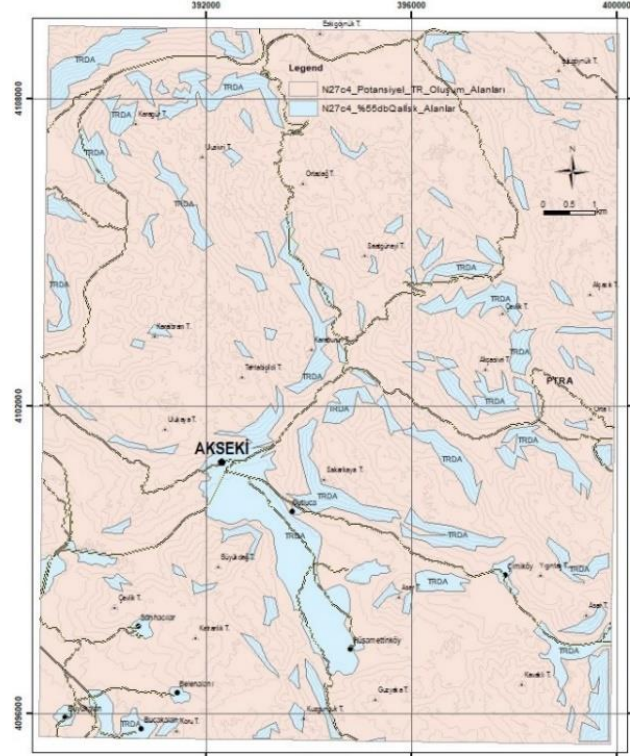
Alüvyonlar, imar-iskan alanları hariç tüm karbonatlı platformlar ile eğimi %55'den küçük alanlar CBS yazılım ortamında kesleştirilerek uygun potansiyel Terra Rossa oluşum alanları ortaya konmuştur (Çabuk vd., 2011; Küpçü ve Özşeker, 2011). Potansiyel Terra Rossa oluşum alanları güncel uydu görüntüleri (Google Earth Pro) ile değerlendirilmiş ve bu alan üzerinde açık kırmızı renkli tüm alanlar ziraat alanları dahil Terra Rossa oluşumları olarak ortaya konmuştur (Şekil 4a ve 4b). Belirlenen Terra Rossa oluşumları CBS yazılım ortamına taşınarak gerekli işlem ve değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 5).

Terra Rossa oluşumlarının uzaktan algılama metodu ile incelenmesi

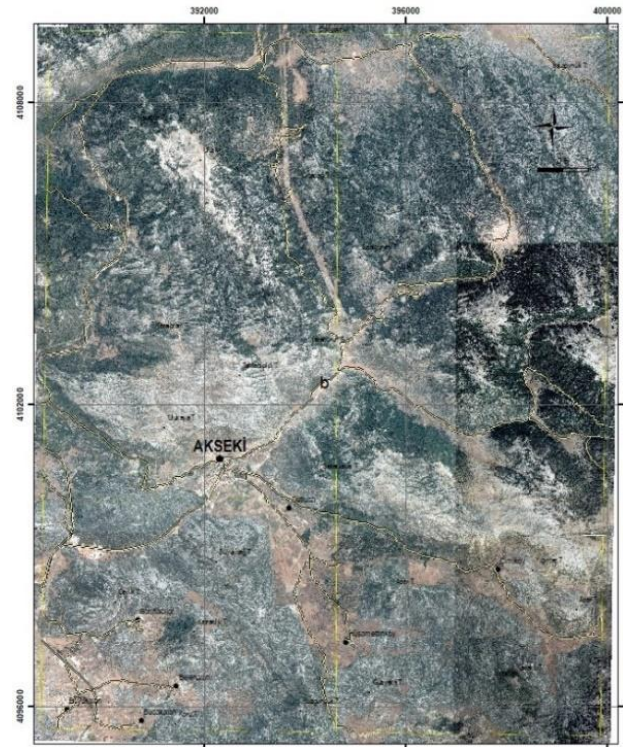
Uzaktan algılama, tekniğin gelişmesi ile ilgili olarak tarım, orman, maden, petrol, gibi sahalarının araştırmalarında kullanılan bir araç durumuna gelmiştir. Uzaktan algılama ile yapılan çalışmalar hızı artmakta ve daha geniş boyutlarda çok değişik parametrelerden faydalanarak yorum yapılabilmektedir. Analizlerinde hava fotoğraflarının kullanılması ise eskilere dayanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte bu analizler gelişmiş optik-elektronik aletler yardımıyla yapılmaya başlanmıştır.

Uzaktan algılama ile elde edilen görüntüler ile sahaya ait bilgisayar uyumlu bandlar Sayısal Görüntü Analiz Sisteminde proses edilerek mümkün olan azami bilgi elde edilerek bir model oluşturulur. Oluşturulan model problemi tanınamaya ve çözüm yollarının neler olacağına yardımcı olacaktır.

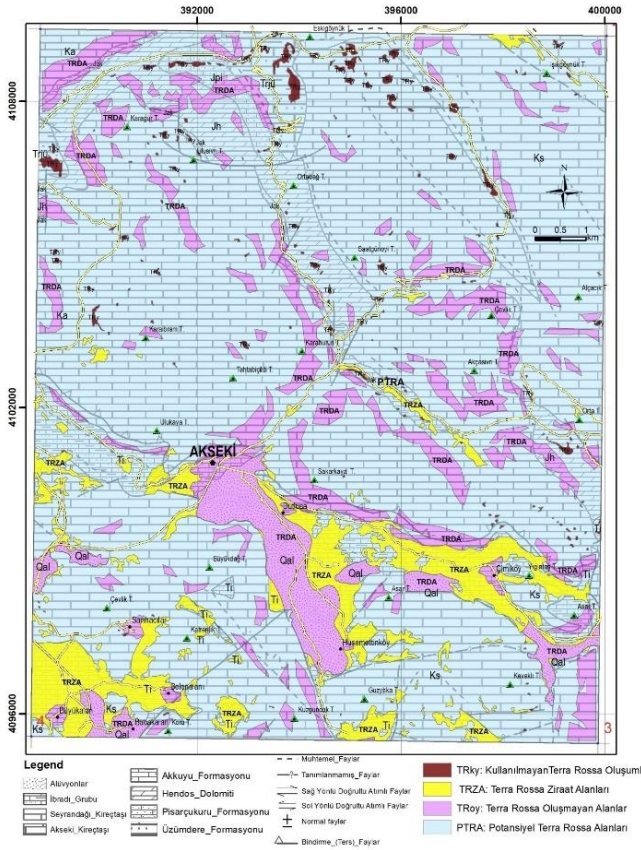
Uzaktan algılama ile farklı toprak grupları arasındaki ayırım, bu ayırımı yapmak için toprak gruplarının havadan spektrophotometre ile yansıma değerlerinin ölçülmesi ve özellikle termal IR scanner'den elde edilen verilerin birleştirilmesi ile kolaylık kazanır.



Şekil 4a. Potansiyel Terra Rossa oluşma alanları



Şekil 4b. Çalışma sahasının güncel uydu görüntüsü



Şekil 5. Çalışma sahasında Terra Rossa oluşumları

Terra Rossa oluşumunda baskın rol oynayan demiroksit minerallerinin görünür yakın kızıl ötesinde özel spektral görünümü vardır. Bu özellik limonit, hematit, götit gibi demiroksit minerallerini diğerlerinden ayırt edilmesinde kullanılabilir (Sümer vd., 2006).

Bulgular

Çalışma sahasında sırasıyla en fazla 6736 hektar alan Akseki kireçtaşı, 5100 hektar alan Seyrandağı kireçtaşı, 1407 hektar alan İbradı grubu (Bakalasay ve Çayıryayla formasyonları), 936 hektar alan Hendos dolomiti, 278 hektar alan Üzümdere, 177 hektar alan Pisarcukuru ve 171 hektar alan Akkuyu formasyonları yayılım gösterdiği belirlenmiştir.

Terra Rossa oluşumları eğim analizleri birlikte değerlendirildiğinde %0-%55 eğimler arasında oluştuğu tespit edilmiştir.

Horst-graben havzalarında izlenen Paleosen-Eosen yaşlı Konglomera, kumtaşı, siltaşı, kiltası, marn, kireçtaşı, killi-kumlu kireçtaşı ardaalanmalarıyla oluşan İbradı grubu çoğunlukla Terra Rossa'ya dönüşmüştür.

Bindirme zonlarında yer alan Akseki kireçtaşlarının İbradı grubu kantağında Terra Rossa oluşumlarının eğimi maksimum olarak görülmüştür.

Terra Rossa oluşumlarının mevcut eğimleri yüksek olması bölgede ya yükselmeye devam etmiş ya da kontak zonlarında yoğun bir alterasyonun olduğu düşünülmektedir.

Terra Rossalar, Miyosen'den önce oluşmuş karbonatlı platformların özel iklim şartları yanında özel jeolojik ortamlarda yerinde ayrılarak olduğu dikkate alındığında Terra Rossa oluşumlarının 25 milyon yıl önce başladığını ve de günümüze kadar sürdüğünü söylenebilir.

Sonuç ve Öneriler

Konglomera, kumtaşı, nummulitli kireçtaş, killi-kumlu kireçtaşı, marn, siltaşı ve kiltası ardaalanmalarıyla oluşan Geç Paleosen-Orta Eosen yaşlı Gedikli, Bakalasay ve Çayıryayla formasyonları İbradı grubu altında değerlendirilmiştir.

Çalışma sahasında sırasıyla en fazla Akseki kireçtaşı, Seyrandağı kireçtaşı İbradı grubu (Bakalasay ve Çayıryayla formasyonları), Hendos dolomiti, Üzümdere, Pisarcukuru ve Akkuyu formasyonları yayılım göstermektedir.

Karbonatlı kayalardan oluşan; Üzümdere, Pisarcukuru formasyonları, Hendos dolomiti, Akkuyu formasyonu, Akseki ve Seyrandağı kireçtaşları ile İbradı Grubu formasyonları tümüyle birleştirilerek karbonatlı platform olarak Terra Rossa oluşumlarına yönelik birlikte değerlendirilmişlerdir.

Terra Rossa oluşumları en çok İbradı grubu formasyonlarında çok az da Seyrandağı kireçtaşları üzerinde oluşmuştur. İbradı grubu formasyonları üzerinde oluşmuş tüm Terra Rossa oluşumları ziraat alanları olarak kullanılmaktadır. Kullanılmayan Terra Rossa oluşum alanları ise en çok Üzümdere formasyonu ve Akseki kireçtaşı üzerinde oluşmuştur.

Toplam 15416 hektarlık çalışma sahasında, alüvyon, imar-iskan alanları hariç %95'ne karşılık 14688 hektarlık alan karbonatlı platform belirlenmiştir. Bu karbonatlı platformun ise %89'e karşılık olarak 13.048 hektar alan "Potansiyel Terra Rossa Oluşum Ortamları" ortaya konmuştur. Potansiyel Terra Rossa oluşum alanlarında %10 oranında 1292 hektar alan Terra Rossa oluşumları tespit edilmiştir. Bunun 1164 hektar alanı ziraat alanları olarak kullanılmakta olup, kullanılmayan 128 hektar alan ise kullanılmayan Terra Rossa oluşumları olarak ortaya konmuştur. Kullanılmayan Terra Rossa oluşum alanlarının %11'ni oluşturmaktadır.

Ziraat alanı olarak kullanılan Terra Rossa oluşumları ile ortaya konan ve herhangi bir şekilde kullanılmayan Terra Rossa oluşum alanlarının temelinde benzer karbonatlı platformların yer aldığı ve benzer oluşum mekanizmaları ile oluşmaları yanında yer yer yan yana oldukları da dikkate alınarak potansiyel olarak bağcılık aktivitesi için verimli bir şekilde kullanılabilir. Çünkü Akseki bölgesi de Sicilya gibi Bağcılık aktiviteleriyle tanınmaktadır. Bu bölgedeki ekili arazilerin çoğu bu amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca, hayvancılık (özellikle küçükbaş ve arıcılık) ve ağaçlandırma yapılabilecek potansiyele de sahiptirler.

Amenajman planlamalarında Terra Rossa oluşumları toprak cinsi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca yöreye özgü başta bağcılık, hayvancılıkta (küçükbaş ve arıcılık dahil) ve ağaçlandırma alanları olarak kullanılabilirler.

Uzaktan algılama yöntemleri ile Terra Rossa oluşumunda belirleyici rol alan demiroksit minerallerinin ayırt edilmesinde kullanılarak CBS yazılımları ile birlikte bu oranın daha fazla olacağı tahmin edilmektedir.

Teşekkür

Bu makalenin analizlerinde CBS yazılımı olan ArcGIS'in kullanılmasında yardımlarını esirgemeyen ESRI Turkey CEO'su Barış UZ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, Uzaktan Algılama konularında fikirlerinden yararlandığım MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Daire Başkanı Dr.Engin Öncü SÜMER'e de teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Anon, (1970). Antalya Havzası Toprakları, Topraksu Genel Müdürlüğü, Toprak Etütleri ve Haritalama Dairesi, Yay.:235, Raporlar Serisi:23, Ankara.
- Bellanca, A., Hauser, S., Neri, R., Palumbo, B. (1996). Mineralogy and geochemistry of Terra Rossa soils, western Sicily: insights into heavy metal fractionation and mobility. *Science of the Total Environment*, 193(1), 57-67.
- Boero, V., Schwertmann, U. (1989). Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetic implications. *Geoderma*, 44(4), 319-327.
- Bulduk, A. (1991). 1/25.000 ölçekli Sayısal Jeoloji Haritası, Konya N27-c4 Paftası, Türkiye Jeoloji Veri tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Çabuk, A., Avdan, U., Cömert, R., Uyguçgil, H., Şorman, A., Küpçü, S., Bektöre, E. Işık, Ö. (2011). *Coğrafi Bilgi Sistemleri*, TC Anadolu Üniversitesi Yayın No:2246, Açıköğretim Fakültesi Yayın No:1245.
- Çabuk, S.N. (2015). CBS'nin Yerel Yönetimlerde Kullanımı ve Kent Bilgi Sistemleri, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:7, No:3, (69-87).
- Delgado, R., Martín-García, J. M., Oyonarte, C., Delgado, G. (2003). Genesis of the terrae rossae of the Sierra Gádor (Andalusia, Spain). *European Journal of Soil Science*, 54(1), 1-16.

- Demirtaşlı, E. (1979). Batı Toros Kuşağının (Akseki yöresi) petrol olanakları, *Türkiye Jeoloji Mühendisliği Birinci Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildirileri, 5-9 Şubat, 1979, Ankara, 187- 190.*
- Demirtaşlı, E. (1987). Batı Toroslar'da Akseki-Manavgat ve Köprülü arasında kalan bölgenin jeoloji incelemesi. Maden Tetkik ve Arama Raporu Genel Müdürlüğü Rapor No: 8779 (yayımlanmamış), Ankara.
- Ekmekçi, E. (1993). Beyşehir Gölü güneyi-Cetmi yoresinin stratigrafisi, *Yüksek Lisans Tezi, (basılmamış).* AU Fen Bilimleri Enstitüsü, 86s., Ankara.
- Ekmekçi, E. (1999). Anamas-Akseki paraotoktonunda (Orta Toroslar) Kretase-Tersiyer çökellerinin biyostratigrafisi, *Doktora Tezi (basılmamış).* AU Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s., Ankara.
- Fedoroff, N., Courty, M. A. (2013). Revisiting the genesis of red Mediterranean soils, *Turkish Journal of Earth Sciences, 22(3), 359-375.*
- Güçlü, Y. (2000). Köyceğiz-Kalkan Kıyı Bölgesi ve Yakın Çevresinde Doğal Ortam İnsan İlişkileri, DEU Eğitim Bilimleri Enstitüsü Coğrafya Öğretmenliği Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Anabilim Dalı, *Doktora Tezi (basılmamış), 100-114.* İzmir.
- Haktanır, K. (2012). *Toprak E-Kılavuzu.* Genç TEMA. s.14.
- Hayes, M. P., Rhodes, M. W., Turner, E. C., Hitchcock, G. E., Knock, R. I., Lucas, C. B. H., Chaney, P. K. (2018). Determining the long-term habitat preferences of the Duke of Burgundy butterfly, *Hamearis lucina*, on a chalk grassland reserve in the UK, *Journal of Insect Conservation, 1-15.*
- İskenderoğlu, A., Bilgin, İ., Baş, M., Yağcı, M.Ö., Özeyranlı, N., Taymaz, O. (2003). İstanbul'da Muhtemel Depremler Karşısında Çözüm Önerileri/Suggestions of Solutions For Probable Earthquakes In Istanbul, Turkey, *Geological Engineering Journal, n.2, vol.27, p:3-17.*
- Kahraman, S., Ünsal, Ö. (2014). ArcGIS, *Spatial Analiz, ESRI Türkiye.*
- Karadağ, M. M., Arık, F. ve Öztürk, A. (2006). Çatmakaya (Seydişehir-Türkiye) boksit yatağının kökenine jeostatistiksel ve jeokimyasal bir yaklaşım. *Yerbilimleri Dergisi, 27(2), 63-85.*
- Kavzoğlu, T., Şahin, E. K., Çölkesen, İ. (2014). Heyelan Duyarlılık Analizinde Ki-Kare Testine Dayalı Faktör Seçimi, sunulan V. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu.*
- Küpçü, S., Özkeser, İ. (2011). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları,* T.C. Anadolu Üniversitesi Yayın No:2348, Açıköğretim Fakültesi Yayın No:1345.
- Lucke, B., Kemnitz, H., Bäuml, R., Schmidt, M. (2014). Red Mediterranean Soils in Jordan: New insights in their origin, genesis, and role as environmental archives. *Catena, 112, 4-24.*
- Martin, C. (1969). Akseki kuzeyindeki bir kısım Toroslar'ın stratigrafik ve tektonik incelenmesi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 72(72).*
- Metin, Y. (1990). 1/25.000 ölçekli Sayısal Jeoloji Haritası, Konya N27-c4 Paftası, Türkiye Jeoloji Veri tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Monod, O. (1977). Recherches géologiques dans les Taurides occidentales au sud de Beyşehir (Turquie). *Unpublished thesis, 442p.* Univ. Paris Sud (Orsay).
- Muhs, D. R., Budahn, J. R. (2009). Geochemical evidence for African dust and volcanic ash inputs to terra rossa soils on carbonate reef terraces, northern Jamaica, West Indies. *Quaternary International, 196(1-2), 13-35.*
- Nur, W. H., Kumoro, Y., Susilowati, Y. (2018). GIS and Geodatabase Disaster Risk for Spatial Planning. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 118, No.1, p.012046), IOP Publishing.*
- Rüstemov, V. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve 3D modelleme, *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi 16 (Özel Sayı II): 146-150,* 2014 ISSN: 2147-7833, www.kmu.edu.tr.
- Sahana, M., Hong, H., Sajjad, H., Liu, J., Zhu, A. X. (2018). Assessing deforestation susceptibility to forest ecosystem in Rudraprayag district, India using fragmentation approach and frequency ratio model, *Science of the Total Environment, 627, 1264-1275.*
- Shariff, A. M. (2006). *Geographical Information Systems.*
- Sümer, Ö.E., San, T.B., Gürçay, B., Pekesin, F.B., Avcı, K.M., Koruyucu, M., Dağlıyar, A., Teoman, Ş., Topçu, T., Özgüner, C. (2006). Aster Uydu Verisi Uygulamaları; Türkiye'den Örnekler, *MTA-JICA. Özel Yayın Serisi:5, s:71,* Ankara.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, T., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı A.S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Korucu, M., Özgül, N. (1992).

- Eğirdir-Yenişarbademli, Gebiz ve Geris-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. MTA Rapor (yayınlanmamış). No: 9390, TPAO Rapor. No: 3132, 559 s, Ankara.
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Özgül, N. (1996). Isparta büklümü doğusunda, otokton ve allokton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar), *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 118(118).
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Bölükbaşı, A.S., Korucu, M., Özgül, N. (1998). Orta Toroslar'da Güzelsu koridoru ve kuzeyinin stratigrafisi, *Türkiye. Bulletin of Mineral Research and Exploration of Turkey*, 120, 171-198.
- Şenel, M., Ekmekçi, E. (2016). 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Konya-N27 paftası, No:230. s.61. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Töreyan, G., Özdemir, İ., Kurt, T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop*, Uygulama Dökümanı, ESRI ArcGIS, İşlem Şirketler Grubu Eğitim Dökümanları.
- Ünal, M. (2011). Toprak Oluşumu ve Ülkemizde Çeşitleri, *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, S. 134, ss. 12-18.
- Yalçın, M. G., İlhan, S. (2008). Multivariate analyses to determine the origin of potentially harmful heavy metals in beach and dune sediments from Kizkalesi coast (Mersin), *Turkey. Bulletin of environmental contamination and Toxicology*, 81(1), 57-68.
- Yomralıoğlu, T. (2009). *Coğrafi bilgi sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamalar*. Akademi Kitabevi, V.Baskı, 479 sayfa, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Ziegler, L.G.K. (1938). Garbi Toros mntikasında yapılmış olan maden ve jeoloji tetkikatı. I. Kısım Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 768, Ankara (yayımlanmamış).
- Zlinszky, A., Heilmeyer, H., Balzter, H., Czucz, B., Pfeifer, N. (2015). *Remote sensing and GIS for habitat quality monitoring: New approaches and future research*.

Evaluation of Terra Rossa formations with GIS applications, Akseki (Antalya) case, Turkey

Extended abstract

In this study, located in the Mediterranean climate zone Akseki (Antalya) formed in the periphery of the town of carbonated platform Terra Rossa they were investigated in a GIS environment.

In this research, all vectoral and raster numerical data, GIS software and satellite images were used. In the software environment for GIS applications, numerical data of the geology, topography, agriculture and zoning-housing areas of the site were analyzed and evaluated together with the current satellite maps.

Slope analyzes were made with topographical data of the field and on the other hand, formation of carbonated platforms was revealed by taking into consideration the formations of the geology of the field.

14688 hectares of carbonated platform was found except for alluviums and zoning-settlement areas. A total of 1292 hectares of Terra Rossa formations have been identified between 0% and 55% slope on the carbonated platforms with the current satellite images. Terra Rossa formation was not observed on 1640 hectare carbonated platforms with a slope greater than 55%. 13048 hectares of carbonated platforms were considered as Potential Terra Rossa Formation Areas.

Terra Rossa formations are mostly observed in the Ibradi group rocks formed by intercalations of Paleocene-Eocene conglomerates, sandstones, siltstone, claystones, and marls and nummulitic limestones in the grabens.

1164 hectares of Terra Rossa formations were used in agriculture and the remaining 128 hectares were found as unused Terra Rossa formations. Terra Rossa formations which are not used constitute 11% of Terra Rossa formations used in agriculture. Terra

Rossa was formed at 10% of the potential Terra Rossa formation area.

Unused Terra Rossa formations; In the management planning, they can be used as vines for the region, animal husbandry (including ovine and beekeeping) and afforestation areas.

Terra Rossa formations can be investigated in detail by remote sensing methods due to the iron oxide minerals they contain.

Today, with the rapid development of GIS technology and software, billions of data from different subjects and sources are uploaded to the systems and a professional way of analysis and modeling is taken into consideration.

Keywords: GIS, GIS analysis, Geology, Terra Rossa



Alternatif bir yöntemle üretilen demir tanesinin karakterizasyonu

Elif Arancı Öztürk

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ
earanci@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-8362-7332 Tel: (424) 237 00 00 - 63 69

Yunus Emre Benkli*

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum
yebenkli@atauni.edu.tr ORCID: 0000-0001-7318-2552 Tel: (442) 231 60 35

Mustafa Boyrazlı

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mboyrazli@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-2340-6703 Tel: (424) 237 00 00 - 63 84

Geliş: 16.04.2019, Revizyon: 26.04.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

Öz

Bu çalışmada, Elazığ-Keban-Yukarı Çakmak bölgesinde bulunan Hun Madencilik'ten temin edilen ve zenginleştirildikten sonra %67,29 Fe içeren konsantr ve redükleyici olarak da, karbonize edildikten sonra %94,68 C içeren çay tesis atıkları kullanılarak bir mikrodalga fırında demir tanesi üretimi gerçekleştirildi. - 45 µm tane boyutuna sahip konsantr baziklik oranı 1,2 olacak şekilde ayarlandıktan sonra, stokiyometrik oranın 2 katı kadar karbonize ürünle karıştırılıp, soğukta sertleştirilmiş kompozit pelet üretildi. Kurutulduktan sonra soğukta sertleştirilmiş peletler için gerekli mukavemet ve porozite değerine sahip olan kompozit peletler mutfak tipi bir mikrodalga fırında 20 dakika redüksiyon işlemine tabi tutulduktan sonra metal spektrometre cihazında yapılan analizinde %96,6 Fe, %2,4 C, %0,42 Si içerdiği tespit edilmiştir. Elde edilen demir tanesinin cüruftan çok rahat bir şekilde ayrılabilirdiği görüldü. Mikroyapı incelemeleri sonucu elde edilen ürünün, beyaz dökme demir özelliklerine benzer özellikler gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Manyetit; Karbonize çay tesis atığı; Mikrodalga redüksiyonu; Kompozit pelet; Demir tanesi.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Mikrodalgalar, frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalar. Bir malzeme mikrodalgaları absorbe ettiğinde, ısı, malzemenin içinde üretilebilir ve ısıtma enerji girişiyle anında gerçekleşir. Mikrodalga ısıtma, gerçekleşen reaksiyonların aktivasyon enerjisini azaltarak reaksiyon hızlarını artırır ve reaksiyonun çok daha düşük sıcaklıklarda meydana gelmesini sağlar. Bu enerji türü, günümüzde, ısıtma, kurutma, liç işlemi, kavurma, ergitme, oksitli minerallerin karbotermik redüksiyonu ve atık yönetimi gibi metalurjik proseslerde kullanılmaktadır. (Standish ve Worner, 1991; Ozmak, 2010)

Türkiye’de özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde siyah çay üretimi yapılan fabrikalarda yılda yaklaşık olarak 200.000 ton çay tesis atığı ortaya çıkmaktadır. Büyük bir potansiyele sahip olan çay tesis atığı çürümeye terk edilerek yok edilmesi sebebiyle çevresel problemlere sebep olmaktadır. (Kütük, 2000) Son yıllarda, bu atıklar, organik gübre (Yalınkılıç vd., 1996; Kütük, 2000), mantar ve süs bitkisi yetiştirme ortamı (Gülser ve Pekşen, 2003; Ersoy, 2007), ses yalıtım malzemesi (Demirbaş, 1999) olarak kullanımı; briketleme (Demir, 2006; Orhan ve Büyükgüngör, 1993) yoluyla yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, sulardan ağır metal adsorpsiyonu (Gündoğdu vd., 2007; Malkoç ve Nuhoglu, 2004; Tiftik, 2006), piroliz yoluyla sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi (Çağlar, 2004; Küçükcalı, 2015), aktif karbon/adsorbent üretiminde hammadde olarak kullanılması (Gürten, 2008), karbon nano tüp sentezi (Güler vd., 2017) gibi çalışmalarla değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Laboratuvar ölçekli kutu tipi fırın içerisinde demir oksitlerin redüksiyonu üzerine çalışma yapan bazı araştırmacılar, manyetit saf demire redüksiyon işleminden sonra fırın sıcaklık ve bekleme süresine bağlı olarak 3 değişik kimyasal ve fiziksel oluşumda ürün elde edildiğini belirtmişler ve bu ürünleri “Direkt Redüklemiş Demir (DRI)”, “Geçişli Direkt

Redüklenmiş Demir (TDRI)” ve “Demir Tanesi” olarak adlandırmışlardır (Benkli, 2008; Kawatra vd., 2005; Qiu vd., 2003).

Geleneksel pik demir üretimi yüksek fırınlar ve yan tesislerden oluşan entegre tesislerde gerçekleştirilir. Oysa demir tanesi olarak adlandırılan ürün, pik demire göre daha kaliteli bir ürün olup daha ekonomik bir şekilde üretilmektedir.

Dökme demir en önemli ve en çok kullanılan döküm alaşımıdır.(Górny ve Fras, 2012) Dökme demirler, diğer alaşım elementlerine ek olarak %2-4 karbon ve %1-3 silisyum içerirler. Çelik ve çelik dökümden farklı olarak dökme demir, son fazın bir ötektik dönüşümle katılaşmasını sağlayan karbon içerikli (en az %2,03) bir döküm alaşımı olarak tanımlanır. (Górny ve Fras, 2012) Dökme demirler heterojen alaşımlar olarak katılaşır ve mikro yapısında her zaman birden fazla faza sahiptir. Demir karbon alaşımlarının katılaşması sırasında karbon, östenit ve ötektik sementit (Fe_3C) ürününde veya grafitte katı çözeltili halinde dağıtılır.

Bu çalışmada, demir tanesi üretimi alternatif bir yöntemle, yerli cevher ve çay tesis atığı karbonizasyon ürünü kullanılarak bir mikrodalga fırın içerisinde gerçekleştirildi ve bu ürünün mikroyapı incelemeleri yapıldı.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmalarda Elazığ-Keban-Yukarı Çakmak bölgesinde bulunan Hun Madencilik’ten temin edilen ve zenginleştirildikten sonra %67,29 Fe içeren hematit–manyetit (%70 Fe_3O_4 , %30 Fe_2O_3) karışımli -45 μm tane boyutundaki konsantre kullanıldı. Redükleyici olarak, karbonize edildikten sonra %94,68 C içeren çay tesis atıkları kullanıldı. Soğukta sertleşen kompozit pelet üretimi için baziklik oranı ayarlanırken flaks olarak %97,5 saflıkta kalsine kireç taşı (CaO) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan konsantrenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de, konsantrenin X-ışınları difraksiyon paterni Şekil 1’de verilmiştir. Konsantrenin, ICP ve XRF analizleri Kanada-ACME Lab’da ve Skyray Instrument Explorer 5000 el tipi XRF

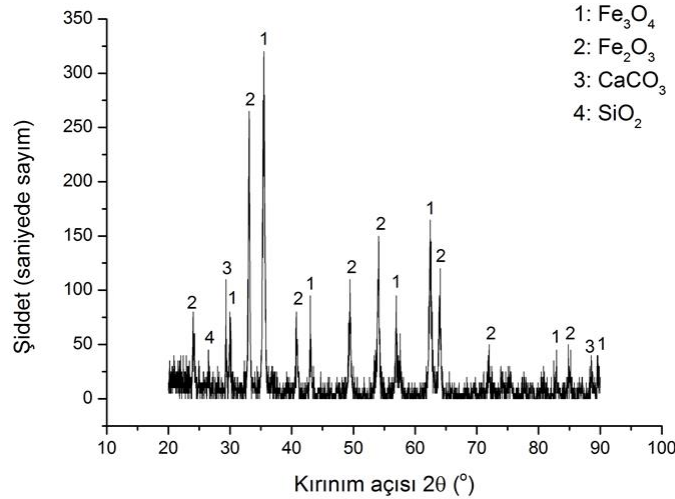
cihazında, XRD analizi Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Bruker D8 Advance cihazında yapılmıştır. XRD Cu-K α radyasyonu ile 20°-90° aralığında 0,02° adımla gerçekleştirilmiştir. SEM/EDX analizleri, Zeiss Evo MA10 cihazı ile Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Elde edilen demir tanesinin karakterizasyon çalışmalarında DIGIROCK sertlik ölçüm cihazında 10 kg'lık ön yüklemeye 150 kg'lık ana yük ve elmas koni uç ile Rockwell makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri ise Tronic, Digital Microhardness Tester HV-1000 cihazında 0,49 N (50 gf) yük ile 15 s yükleme yapılarak Vickers metoduyla numunenin farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Gaziantep Çelik Döküm Fabrikası'nda bulunan Foundry-Master metal spektrometresi ile kimyasal bileşim incelemesi yapılmıştır. PME Olympus Tokyo markalı optik

mikroskop ile farklı büyütme oranlarında mikroyapı incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Elazığ-Keban-Yukarı Çakmak köyü cevheri zenginleştirme sonrası (konsantre) kimyasal bileşimi

Bileşen	Miktar(%)	Bileşen	Miktar(%)
Fe	67,29	MgO	0,12
SiO ₂	1,8	Na ₂ O	<0,01
Al ₂ O ₃	0,26	MnO	0,09
CaCO ₃	2,43	Cr ₂ O ₃	0,116
K ₂ O	<0,01	P ₂ O ₅	<0,01
TiO ₂	<0,01	Pb	0,015
Ni	0,028	S	0,002
Ba	<0,005	Co	0,007
Zn	0,99	Cu	0,006
P	0,007	Kızdırma kaybı	0,3

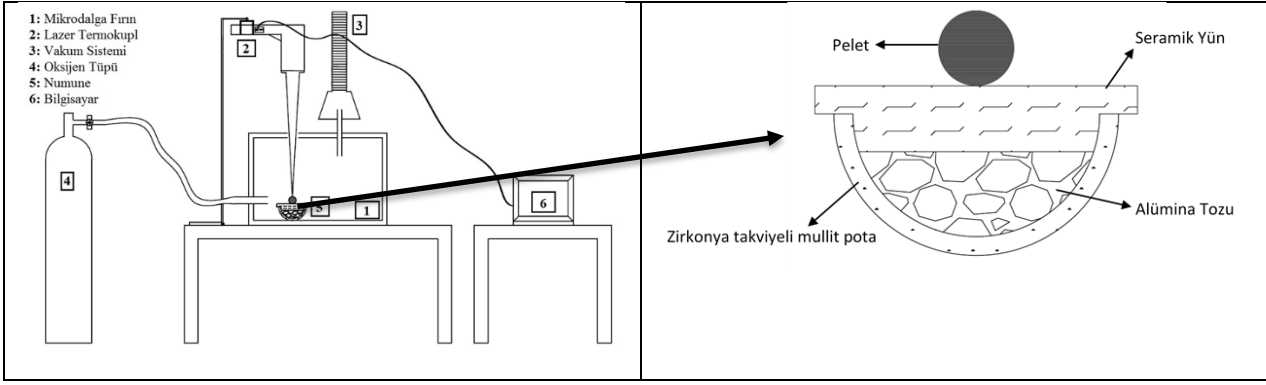


Şekil 1. Konsantreye ait X-ışınları difraksiyon paterni

Metot

Deneyisel çalışmalarda, -45 μ m tane boyutundaki %30 hematit, %70 manyetit içeren konsantre stokiyometrik oranın iki katı karbonize ürün ve baziklik oranı 1,2 olacak

şekilde karıştırılıp kompozit peletler hazırlanmıştır. Deneylerin yapıldığı düzenek ve kullanılan pota tasarımı Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Redüksiyon deneylerinin yapıldığı düzenek ve kullanılan pota tasarımı

DRI/TDRI/demir tanesi gibi pik demire alternatif ürünlerin üretiminde kullanılan ve “kendinden redüklenebilir pelet, soğukta sertleştirilmiş pelet, kompozit pelet” gibi isimlerle anılan aglomeraların yüksek fırın sistemlerine beslenen aglomeralar ile aynı mukavemet ve porozite değerine sahip olmasına gerek duyulmaz. Çünkü bu ürünlerin üretiminde kullanılan fırınlarda (örneğin döner hazneli fırınlar) düşük yükseklikteki pelet katmanları oluşturulduğu için peletin üzerine minimum yük binmektedir. Ancak ticari boyuttaki bir üretim tesisinde taşıma gibi işlemlerde nispeten düşük bir basma mukavemeti gerektirmektedir. İstenen bu mukavemetin de yaklaşık olarak 300 N/pelet olduğu belirlenmiştir (Agrawal vd., 2000). Kompozit peletlerin hazırlanması deneylerinde bağlayıcı olarak, önce %30’luk melas çözeltisi tek başına kullanılmış, ancak mikrodalga fırında gerçekleştirilen işlemler sırasında peletlerin parçalanmasından dolayı, sonraki çalışmalarda melas ve jöle kombinasyonları denenmiş mukavemet bakımından en uygun sonucun alındığı %30’luk melas çözeltisinden kullanılan malzemenin (konsantre + flaks + redükleyici) %10’u kadar alınıp ve bu çözelti içerisine %3 jöle ilavesi yapılarak hazırlanan peletler kullanılmıştır. Üretilen kompozit peletler 200°C’de 2 saat kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra mikrodalga işleme maruz bırakılmışlardır.

Karbonun yanma reaksiyonu iki kademe oluşur. Önce havanın içindeki oksijen karbon ile reaksiyona girerek CO₂ oluşturur:



Havanın içindeki oksijenin bitmesine takiben (1) numaralı reaksiyon sonucu oluşan CO₂ gazı karbonla birleşerek CO oluşturur:



(2) numaralı reaksiyon Boudouard reaksiyonu olarak bilinir ve yüksek sıcaklıklarda sistemde hemen hemen hiç CO₂ kalmayana kadar devam eder (Hunt vd., 2013; Jin vd.,2016).

Kompozit peletlerin bünyesinde bulunan karbonun Boudouard reaksiyonunu gerçekleştirebilmesi ve gerekli ısıyı verebilmesi için ortama 2 l/sa. hızla oksijen gazı beslemesi yapılmış, fırın içerisinde oluşan gazlar ise vakumlanarak ortamdaki uzaklaştırılmıştır.

Elde edilen demir tanesinin karakterizasyon çalışmalarında DIGIROCK sertlik ölçüm cihazında 10 kg’lık ön yüklemeye 150 kg’lık ana yük ve elmas koni uç ile Rockwell makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri ise Tronic, Digital Microhardness Tester HV-1000 cihazında 0,49 N (50 gf) yük ile 15 s yükleme yapılarak Vickers metoduyla numunenin farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Gaziantep Çelik Döküm Fabrikası’nda bulunan Foundry-Master metal spektrometresi ile kimyasal bileşim incelemesi yapılmıştır.

Uygulama ve Başarımlar

Mikrodalga fırında, manyetit konsantresi, karbonize çay tesis atığı, flaks ve bağlayıcı kullanılarak hazırlanan kompozit peletler üzerinde gerçekleştirilen deneyler esnasında cüruf oluşum reaksiyonları ve saf demir elde edilmesine yönelik demir oksit reaksiyonları gerçekleşmiştir. Kompozit peletlerin mikrodalga fırında farklı sürelerde işleme tabi tutulması sonucu elde edilen SEM görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3 (a)'daki SEM görüntüsünde koyu bölgeler kompozit pelet bünyesindeki manyetit taneciklerinin bazılarının redüklenmediğini, gümüş renginde beyaz metalik parlaklığa sahip kısımlar ise redüklenmiş bölümleri göstermektedir. Buna karşılık, Şekil 3 (a),(b),(c) ve (d)'de verilen SEM görüntülerinde indirgenmiş ve indirgenmemiş kısımlar arasında belirgin bir sınırın olmadığı görülmektedir.

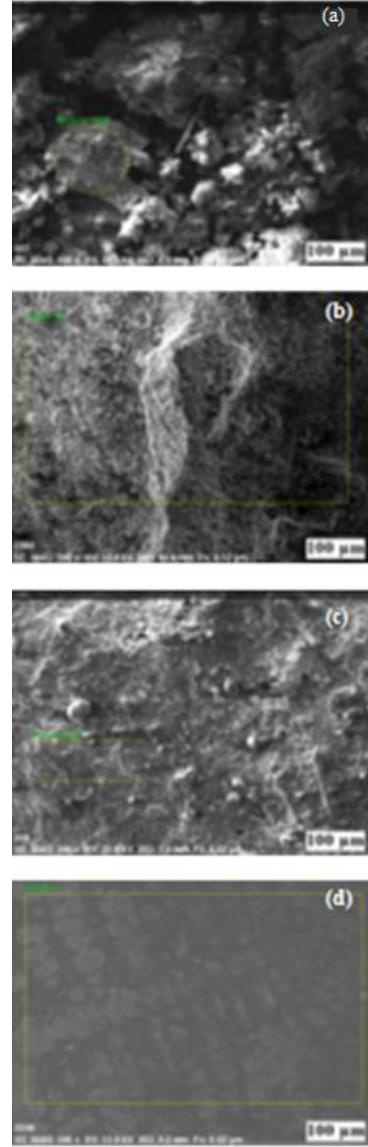
Çalışmalarda işlem süresine bağlı olarak, kompozit peletin dış kısmında gözenekli şekilde indirgenmemiş ürün kabuk şeklinde oluşurken, kompozit peletin iç alanında tamamen indirgenmiş, ergimenin gerçekleştiği ve metalik bir çekirdeğin oluştuğu görüldü. İşlem süresinin artmasıyla reaksiyona girmemiş kabuk neredeyse tamamen kaybolduğu ve numunenin metalik hale geldiği görüldü.

Fırından alınan numunelerin, cüruftan ayrıldıktan sonraki X-ışınları difraksiyon paterni Şekil 4'te görülmektedir.

Kompozit peletlerin indirgmeden önce esas olarak Fe_2O_3 ve Fe_3O_4 'ten oluştuğu konsantrenini XRD analizinden görülebilir.

Fe_2O_3 'ün X-ışınları difraksiyon paternindeki piki, mikrodalga fırında 10 dakika boyunca gerçekleştirilen işlem sonucu kaybolmuş, FeO ve Fe'yi temsil eden pikler ortaya çıkmıştır. 15 dakikalık redüksiyon işleminden sonra Fe_2O_3 'ün tamamı, Fe_3O_4 'ün büyük bir bölümünün FeO ve Fe'ye dönüştüğü görülmüştür. 20 dakikalık mikrodalga işlem sonunda alınan XRD görüntülerinde, 10 ve 15 dakikalık numunelerde

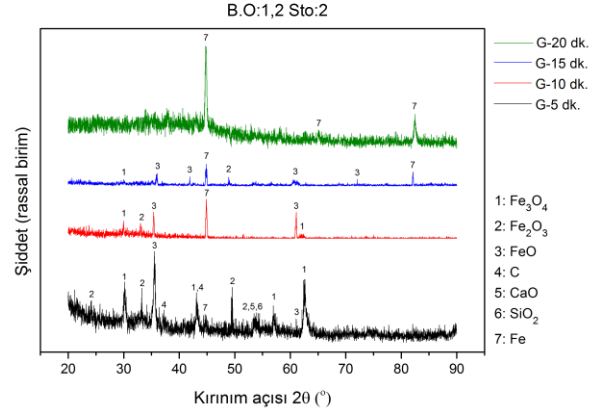
görülen FeO pikleri ortadan kaybolurken, Fe'nin pik yoğunluğu, FeO'nun hemen hemen hepsinin Fe'ye indirgendiğini göstermektedir. 5 dakika işlem gören numunenin XRD piklerinde görülen CaO ve SiO_2 pikleri ise, metalin cüruftan tam olarak ayrılmadığı anlamını taşımaktadır. Literatürde bu tür ürünler geçişli sünger demir olarak adlandırılmaktadır (Benkli vd., 2017; Benkli vd., 2018)



Şekil 3. Mikrodalga fırında (a) 5 dakika, (b) 10 dakika, (c) 15 dakika ve (d) 20 dakika işlem gören peletlerin SEM görüntüsü

Karakterizasyon

Mikro yapısal inceleme, dökme demirlerin tanımlanması için en etkili teknik olup, karbonun majör kısmının demirde meydana geldiği biçim ve şekle dayanır. Tablo 2’de alaşımsız dökme demirler ve yüksek fırın pik demiri için kimyasal bileşim aralıkları yaklaşık olarak verilmiştir.



Şekil 4. Mikrodalga fırında işlem gören peletlerin cüruftan ayrıldıktan sonra X-ışınları difraksiyon paterni

Tablo 2. Alaşımsız dökme demirler ve yüksek fırın pik demiri için kimyasal bileşim aralıkları (Kawatra vd., 2005; Smith., 1993)

Element	Yüksek fırın pik demir, %ağ. (Kawatra vd., 2005)	Beyaz dökme demir, %ağ. (Smith, 1993)	Gri demir, %ağ. (Smith, 1993)	Dövülebilir demir, %ağ. (Smith, 1993)	Sfero demir, %ağ. (Smith, 1993)
C	4-5 (doymuş)	1,8-3,6	2,5-4,0	2,00-2,60	3,0-4,0
Si	0,3-1	0,5-1,9	1,0-3,0	1,10-1,60	1,8-2,8
S	0,03	0,06-0,2	0,02-0,25	0,04-0,18	<0,03
P	<1	0,06-0,18	0,05-1,0	<0,18	<0,10
Mn	0,1-2,5	0,25-0,80	0,25-1,0	0,20-1,00	0,10-1,00

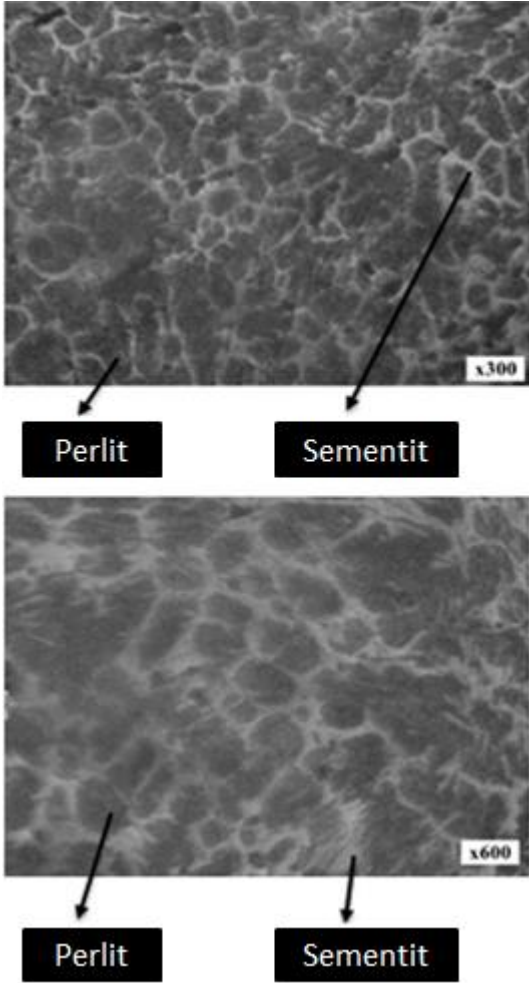
Bu bölümde elde edilen demir tanesinin mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiş olup optik mikroskop görüntüleri, XRD ve SEM görüntüleri yorumlanmıştır. Ayrıca numunenin EDX analizleri, mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Peletin mikrodalga fırın içerisinde oksijen gazı atmosferinde 20 dakika işleme tabi tutulması sonucu elde edilen demir tanesinin yapısı incelenmiş ve demir-karbon denge diyagramında beyaz dökme demir olarak adlandırılan bölgeye denk geldiği görülmüştür. Beyaz dökme demir kararlı demir-karbon denge diyagramına göre %100 sıvı formundan katılaşmaya başlar (Kawatra vd., 2005).

Manyetit, demire indirgenğinde, karbon yavaş yavaş metalde çözünüp demirin ergime sıcaklığını düşürerek ergimenin gerçekleşmesine sebep olur. Bu ergiyeğin soğutulma şekli ve hızı, çeşitli dökme demir yapılarından birini oluşturur.

Metalografik inceleme

Numune metalografik incelemeler için polyester reçine ile soğuk bakalite alındıktan sonra, zımparalama işlemlerinin ardından parlatılıp %4 nital ile dağlanmış ve optik mikroskopta 300x ve 600x büyütme oranlarında görüntüleri kaydedilmiş ve Şekil 5’te gösterilmiştir.



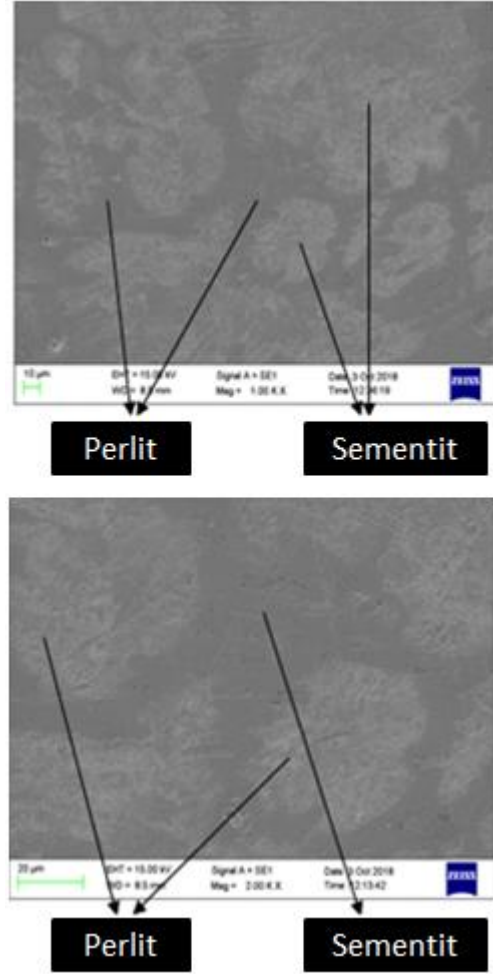
Şekil 5. Numunenin %4 nital ile dağlandıktan sonraki optik mikroskopta elde edilen mikro yapısı

Yapıda koyu renkte görülen bölgeler perlit, perlit bölgelerinin etrafını saran ağsı beyaz renkli alanlar ise sementittir. Demir taneleri ilk dönüşüm sırasında, γ -Fe/sıvı faz sahasından geçerken östenit dendritlerine dönüşmüştür. Daha sonra bu birincil ötektik östenit perlite dönüşür (lamelli demir karbür (Fe_3C) ve α -ferrit tabakaları). 1147 °C'ye erişildiğinde, geriye kalan sıvı, östenit (soğuduğunda perlite dönüşür) ve demir karbür (Fe_3C) içeren bir ötektik morfolojiye katılır.

SEM Analizleri

Şekil 6'da verilen SEM görüntülerinde farklı yönelmiş perlit yapılarının bir araya gelerek oluşturduğu bir parmak izi görüntüsüne sahip oluşum ve bu oluşumun etrafını saran Fe- Fe_3C

denge diyagramındaki en sert faz olan sementit görülmektedir.



Şekil 6. Numunenin SEM görüntüleri

Sertlik Ölçümleri

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ürünün sertlik değerlerine bakılmış, makro sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Rockwell sertlik değerleri olarak elde edilen bu sonuçlar yaklaşık 320 HVN değerine denk gelmektedir. Aynı numunenin mikro sertlik ölçümleri numunenin farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiş olup, mikrosertliğin 318,5-915,7 HVN arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 7).

Tablo 3. Numunenin makro sertlik ölçüm değerleri

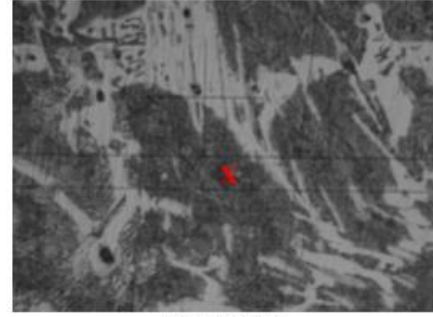
HRC
31,9
30,8
31,6
31,2
31,8
Ortalama: 31,6 Standart Sapma: 2,8

Metalik yapı içindeki ergimiş karbon miktarı (karbür miktarı) arttıkça sertlik değeri de artar. Sıradan bir beyaz dökme demir alaşımı yaklaşık 350-550 HVN aralığında sertlik değerleri verirken, 220-300 HVN mikro sertlikteki perlitik yapı içerisinde 900-1200 HVN mikro sertlikli birincil demir karbürler içerirler (Grote ve Antonsson, 2008).

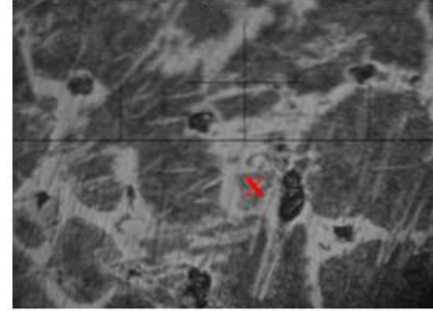
Mikro yapı incelemeleri sonucu üretilen ürünün beyaz dökme demir olduğu sonucuna varılmıştır. Beyaz dökme demirin sertliği, karbon içeriği arttıkça, yapıda artan sementit (Fe_3C) miktarına bağlı olarak ve artan soğutma hızıyla perlitin lamelleri arasındaki mesafenin (Fe_3C ve α -ferrit tabakaları arasındaki aralık) azalmasına bağlı olarak artar (Benkli, 2008).

Yapının mikro sertliğini arttıran iki türlü demir karbür yapısı vardır. Bunlardan birincisi, katı-hal reaksiyonları ile ikincisi ise sıvı-hal reaksiyonları ile meydana gelir. Katı haldeki karbonun difüzyonu, sıvı halde olan difüzyondan çok daha yavaştır. Bu sebeple, sertlikteki büyük artış, metalize edilmiş kısımdaki karbonun daha fazla ve/veya hızlı difüzyonuna bağlıdır (Benkli, 2008).

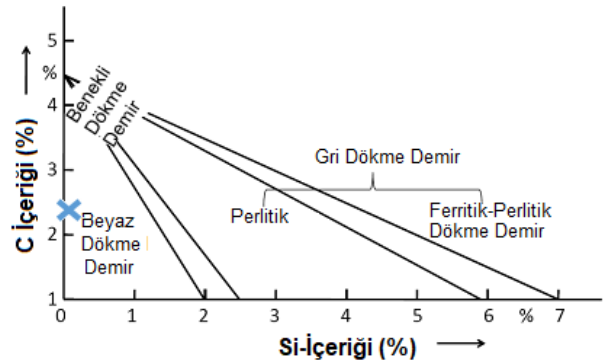
Şekil 8'de silisyum ve karbona bağlı olarak çizilen Maurer diyagramı verilmiştir (Miklós, 2002). Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen demir tanesinin analizi Maurer diyagramı göz önüne alınarak incelendiğinde, işaretli bölgeye denk geldiği görülmektedir.



318,5 HVN



915,7 HVN

Şekil 7. Numunenin "x" işareti ile gösterilen çeşitli fazlarından alınmış mikro sertlik değerleri**Şekil 8.** Dökme demirlerde karbon ve silisyuma bağlı olarak yapı değişimi (Miklós, 2002).

Sonuçlar

Bu çalışmada yerli demir cevherinden alternatif bir yöntemle pik demir üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, redükleyici olarak karbonize edilen biyoatıklar kullanılmış ve redüksiyon işlemleri bir mikrodalga fırında gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- %70 manyetit %30 hematitten müteşekkil bir kompozit peletin mikrodalga içerisinde demir tanesi üretimimin gerçekleştirilmesi için yeterli işlem süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir.
- Stokiyometrik oranın 2 katı kadar karbonize ürün alınıp, baziklik oranı 1,2, olacak şekilde hazırlanan kompozit peletin mikrodalga fırın içerisinde oksijen gazı atmosferinde 20 dakika işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ürünün, demir karbon denge diyagramında beyaz dökme demir olarak adlandırılan bölgeye denk geldiği görülmüştür. Bu ürünün metal spektrometre cihazında yapılan analizinde %96,6 Fe, %2,4 C, %0,42 Si içerdiği tespit edilmiştir.
- Optik mikroskop görüntülerinde yapıda koyu renkte perlit, perlit bölgelerinin etrafını saran ağsı beyaz renkli sementit bölgeleri görülmüştür.
- Demir tanesinin SEM görüntülerinde farklı yönelmiş perlit yapılarının bir araya gelerek oluşturduğu bir parmak izi görüntüsüne sahip oluşum ve bu oluşumun etrafını saran sementit fazı görülmüştür.

Önemli Not:

Bu makale, “*MANYETİT CEVHERİ KONSANTRESİNİN KARBONİZE ÇAY TESİS ATIKLARI İLE MİKRODALGA REDÜKSİYONUNA MEKANİK AKTİVASYON İŞLEMİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI*” başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- Benkli Y.E., Boyrazlı M., Senoz G. M. L. ve Cizmecioglu Z., (2017). Investigation of reduction of magnetite based carbon composite pellets under semi-fusion conditions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **54**, 3, 621-628.
- Benkli Y.E., Boyrazlı M. ve Cizmecioglu Z., (2018). Effect of furnace temperature on iron nugget production under semi-fusion conditions, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, **53**, 3, 590-596.
- Çağlar, A., (2004). Çay atığının katalitik pirolizi: sıvı ürün verimi üzerine katalizörlerin etkisi, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, **12**, 2, 385-392.
- Demir, I., (2006). An investigation on the production of construction brick with processed waste tea, *Building and Environment*, **41**, 9, 1274-1278.
- Demirbaş, A., (1999). Briketleme işlemi yoluyla çay atıklarının değerlendirilmesi, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **21**, 3, 215-220.
- Ersoy, S., (2007). Endüstriyel çay yaprak lifi atık materyallerinin ses absorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Górny, M. ve Fras, E., (2012). An Inoculation Phenomenon In Cast Iron, *Archives Of Metallurgy And Materials*, **57**, 3,
- Orhan, Y. ve Büyükgüngör, H., (1993). The removal of heavy-metals by using agricultural wastes, *Water Science and Technology*, **28**, 247-255.
- Gündoğdu, A., Duran, C., Bulut, V. N., Serencam, H., Soylak, M., İmamoğlu, M. ve Şentürk, H. B., (2007). Çay Fabrikası Çay Atıklarından Aktif Karbon Eldesi ve Sulardan Metal Uzaklaştırılmasında Kullanılması, *21. Ulusal Kimya Kongresi*, Malatya.
- Gülser, C., ve Pekşen, A., (2003). Using tea waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus* (L.) sing.) cultivation, *Bioresource Technology*, **88**, 153-156.

- Gürten, İ. I., (2008). Çay Atığından Adsorbent Üretimi ve Üretilen Adsorbentin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güler Ö., Boyrazlı M., Başgöz Ö. ve Bostancı, B., (2017). The synthesis of carbon nanostructures from tea plant wastes, *Canadian Metallurgical Quarterly*, **56**
- Kawatra, S., K., Anameric, B. ve Eisele, T., C., (2005). Single-Step ironmaking from ore to improve energy efficiency, *Final Technical Report*, DOE Award Number: DE-FG26-03NT41930
- Küçükali, S., (2015). Çay fabrikası atıklarının pirolizi ve piroliz reaksiyonu kinetiğinin incelenmesi, *İnovatif Kimya Dergisi*, **3**, 23.
- Kütük, C., (2000). Çay atığı kompostu ve atık mantar kompostunun yetiştirme ortamı bileşeni olarak süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılması, *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, **5**, 1-2, 75-86.
- Malkoç, E. ve Nuhoglu, Y., (2004). Çay fabrikası atıkları ile atık sulardan ağır metal iyonlarının giderimi, *9. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 475-478, İstanbul.
- Ozmaç, M., (2010). Biyokütle atıklardan aktif karbon üretimi, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Smith, W. F., 1993. Structure and Properties of Engineering Alloys. *McGraw-Hill Materials Science and Engineering Series*, 2nd Edition, pp. 336.
- Standish, N. ve Worner, H., (1991). *Iron & Steelmaker*, 1991, **18**, 5, 59-61.
- Tiftik, B. E., (2006). Çay fabrikası atığının pirolizi ve piroliz ürünlerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalınkılıç, M. K., Altun, L. ve Kalay, H. Z., (1996). Çay fabrikaları çay yaprağı artıklarının kompostlaştırılarak orman fidanlıklarında organik gübre olarak kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, **18**, 28-32.
- Hunt J., Ferrari A., Lita A., Crosswhite M., Ashley B., and Stiegman A. E., 2013, Microwave-Specific Enhancement of the Carbon-Carbon Dioxide (Boudouard) Reaction, *J. Phys. Chem. C* 2013, **117**, 26871-26880
- Jin Yang Lim, J. McGregor, A.J. Sederman and J.S. Dennis, The role of the Boudouard and water-gas shift reactions in the methanation of CO or CO₂ over ni/γ-Al₂O₃ catalyst, *Chemical Engineering Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2016.06.042>
- Agrawal, B. B., Prasad, K. K., Sarkar, S. B., Ray, H. S., 2000, "Cold Bonded Ore-Coal Composite Pellets For Sponge Ironmaking Part 1 Laboratory Scale Development" *Ironmaking and Steelmaking*, Volume 27, Number 6, December 2000, pp. 421-425(5).
- Qiu G., Jiang T., Huang Z., Zhu D., Fan X., 2003, "Characterization of Preparing Cold Bonded Pellets for Direct Reduction Using an Organic Binder" *ISIJ International*, 43 No. 1, 20-25.
- Kawatra, S. K., Anameric, B., Eisele, T. C., 2005, "Single-Step Ironmaking from Ore to Improve Energy Efficiency", *Final Technical Report*, Ekim 2005
- Benkli, Y. E., 2008, "Soğukta Sertleşen Kompozit Peletlerin Yarı Ergitme Şartlarında İndirgenmesinin Araştırılması", *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Grote, K. H., Antonsson, E., 2008, "Handbook of Mechanical Engineering", Springer, pp. 531.
- Velichko, A., 2008, "Quantitative 3D Characterization of Graphite Morphologies in Cast Iron using FIB Microstructure Tomography", Saarland University, Faculty of Natural Sciences and Engineering
- Tisza Miklós, 2002, *Physical Metallurgy for Engineers*, ASM International Materials Park Ohio 440730002 USA and Freund Publishing House Ltd. London-Tel Aviv, pp:342

Characterization of iron nugget produced by an alternative method

Extended abstract

In this study, by using the magnetite concentrate, which contains 67.29% Fe, and tea plant waste which contains 94.68% C after carbonization was performed iron nuggets production in a microwave oven. The concentrate with a grain size of $-45\ \mu\text{m}$ was adjusted to have a basicity ratio of 1.2, and then the carbonized product, which is twice the stoichiometric ratio, was added to the mixture.

After drying, the composite pellets having sufficient strength and porosity value according to cold bonded pellet standards were subjected to reduction process for 20 minutes in a kitchen-type microwave oven. It was observed that the iron nugget obtained after the reduction process contained 96.6% Fe, 2.4% C, 0.42% Si. It was observed that the iron nugget was very easily separated from the slag. In XRD images of sample, it was seen that the composite pellets consisted mainly of Fe_2O_3 and Fe_3O_4 before reduction. As a result of the process performed in the microwave oven for 10 minutes, the Fe_2O_3 peak was lost in XRD patterns, while the peaks representing FeO and Fe were observed. After 15 minutes of reduction, Fe_2O_3 peaks were almost completely transformed into FeO and Fe peaks, whereas some Fe_3O_4 peaks did not. At the end of the 20-minute procedure, the FeO peaks disappeared in XRD patterns and the peak density of Fe showed that FeO was almost all reduced to Fe. The CaO and SiO_2 peaks seen in the XRD patterns of the sample treated for 5 minutes mean that the metal cannot be completely separated from the slag. In literature, such products are called transition direct reduced iron (TDRI).

The microstructure investigations revealed that the iron nugget produced had similar properties to the white cast iron properties. During the microwaved studies, a region of porous non-reduced portions was observed in the outer part of the pellet depending on the processing time, while the interior of the pellet was completely reduced. In the microstructure, the areas consisting of perlite and cementite were clearly seen. In SEM images, the formation of a fingerprint image formed by the formation of different oriented perlite structures and the cementite phase surrounding this formation were observed.

Micro hardness measured between 288-904 HVN as a result of micro hardness measurements performed

in different regions of the sample. In the case of white cast iron, as the carbon content increases, the distance between the lamellae of perlite (the distance between the Fe_3C and α -ferrite layers) decreases, depending on the increasing of the amount of cementite (Fe_3C) in the structure and the cooling rate. There are two types of iron carbide structure which increase the micro hardness of the structure. The first is formed by solid-state reactions and the second by liquid-state reactions. The diffusion of carbon in the solid state is much slower than the diffusion in liquid form. Therefore, the large increase in hardness can be considered to be due to the higher and / or rapid diffusion of carbon in the metallized portion.

Keywords: Magnetite; carbonized tea plant waste; microwave reduction; composite pellets; iron nugget.



Silopi Harbul açık işletmesi delme-patlatma çalışmaları incelemesi

Suud AGİTOĞLU*

Ciner Group-Silopi Maden İşletmesi, Silopi, Şırnak

agitoglu@hotmail.com ORCID: 0000-0003-2863-9191, Tel: (532) 7207171

Nuray ALPASLAN

Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği, Geoteknik ABD, Batman

nuray.alpaslan@batman.edu.tr ORCID: 0000-0001-6430-1222, Tel: (488) 2173601(4104)

Mustafa AYHAN

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, Maden İşletme ABD, Diyarbakır

mayhan@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0003-4631-8842, Tel: (0 412) 248 84 03 (3568)

Geliş: 25.09.2019, Revizyon: 21.01.2020, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Açık işletme maden sahasında delme-patlatma çalışmaları dekapaj işinin en önemli ayağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada Silopi Harbul açık işletmesinde yapılan delme – patlatma çalışmaları yerinde gözlemlenmiş ve patlatma parametreleri tespit edilmiştir. Teorik yaklaşımlardan yararlanılarak ön tasarımlar hazırlanmış ve sahada uygulanmaya başlanmıştır. Uygulanan paternler yerinde takip edilerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Bu sonuçlar üzerinde hacimsel verim yorumlanmış, özgül şarj oranları karşılaştırılmıştır. Patlatma sonucu oluşan dekapaj yığını temsil edebilecek fotoğraflar alınmış ve görüntü boyut analiz programı Split Desktop 4.0 ile boyut analizi yapılmıştır. Boyut analizinden elde edilen sonuçlar, formasyon bazında karşılaştırılmıştır. Çalışma sahasında kurulu bulunan Şev izleme istasyonu IBIS Radar sistemi kullanılarak izleme alanında gerçekleştirilen deneme atımlarının atım saatlerinde şev stabilitesi üzerinde hareket etkisi araştırılmıştır. Dekapaj çalışmalarının yapıldığı Gercüş, Midyat ve Cudi jeolojik formasyonlarındaki patlatmalar hacimsel verim açısından, özgül şarj değerleri karşılaştırılmıştır. Cudi formasyonunda 110 mm delik çapının, Gercüş ve Midyat formasyonunda 160 mm delik çapının daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Boyut analizi bakımında uygulanan deneme atımların tümünde sonuçlar 0-635 mm boyut aralığının ve saha yükleme-taşıma ekipmanları tarafından yüklenebilir olduğu gözlenmiştir. Cudi formasyonunda yapılan atımlar için alınan IBIS anlık şev izleme istasyonu verilerinin incelemesinde 6 saatlik yer değiştirmenin -1,4 mm ile -0,15 mm aralığında olduğu ve patlatmasız zaman dilimleri ortalamasına yakın bir değerde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Cudi formasyonunda uygulanan delme patlatma faaliyetlerinin şevlerin stabilitesini olumsuz yönde önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asfaltit kömürü, Boyut analizi, Delme, Hacimsel verim, Harbul filonu, Patlatma, Silopi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.624367

Giriş

Açık İşletme madencilik çalışmalarının zor kazı şartları için Delme-Patlatmalı kazı kaçınılmazdır. Bu tür işletmelerde dekapaj ve cevher kazı çalışmalarının önünü açan birincil unsur delme - patlatma işlemlerinin verimliliğidir. Delme-Patlatmadaki verimi etkileyen birçok parametre vardır, bunlardan kayaçların kendi yapısı (jeomekanik, jeokimyasal, petrografik özellikleri vs.) ve kayaçların bir arada bulunduğu ortam özellikleri (yapısal jeoloji, tabakalanma, süreksizlik sistemi, su varlığı vs.) sabit olup, değiştirilemezler. Sadece delik paterni, delik makinası, patlayıcı madde ve bağlantılı alt parametreler değiştirilebilirler. Sabit ve değiştirilemeyen parametrelere uyumlu bir şekilde değiştirilebilir parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak verimlilik değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Delme-Patlatma çalışmaları için sahada kayacın delinebilirliği ve patlatılabilirliği değerlendirildikten sonra, delik paterni, makine ve patlayıcı madde seçimi kararları verilmektedir. Bu kararların teorik yaklaşım ve deneysel veriler ile belirlenmesi, maliyet ve güvenlik yönünden önem arz etmektedir.

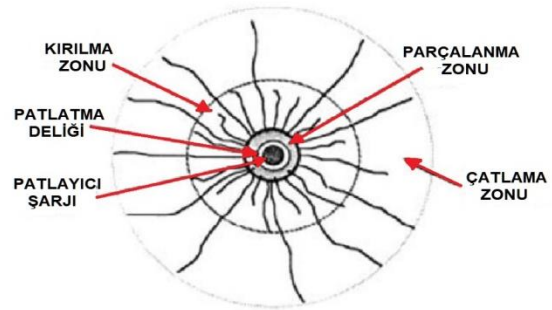
Delme Patlatma hakkında birçok araştırmacı çalışmış olup verim, boyut analizi ve sarsıntı hakkında yapılan çalışmalar öne çıkmaktadır.

Bayrakçı (2007), Aydın Linyit İşletmeleri delme patlatma işlemlerinin iyileştirmesi konulu çalışmada, patlatma sonrası gözlemlerin önemine değinerek, mevcut durum patlatma çalışmalarında yapılan hataları tespit ederek işletme kaya karakteristiklerine göre optimum bir patern önerisi geliştirmiştir.

Sayınbatur (2011), açık ocak maden işletmelerinde patlatma delikleri ve patern tasarımı üzerine bir araştırma konulu çalışmada; SLİ işletmesindeki patlatma çalışmaları incelemiş, delme-patlatma maliyetinin tek başına düşürülmesinin bir verim olarak gösterilemeyeceği ve ardışık diğer faaliyetler üzerinde etkisinin analiz edilmesinin daha önemli olduğuna değinerek, işletmede

uygulanan kare düzenine yakın şaşbeş yönteminin eşkenar üçgen şaşbeş yöntemi olarak değiştirilmesi gerektiğini önermiştir.

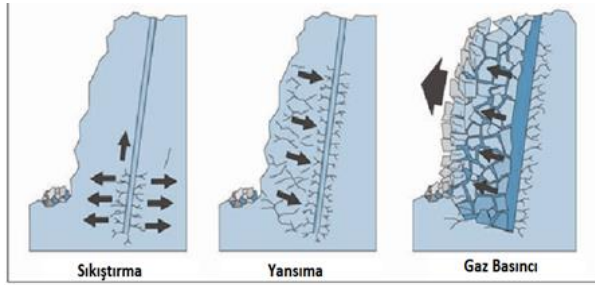
Patlatma mekanizması; saniyenin binde biri gibi kısa bir sürede, çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazın ortaya çıkardığı enerji ile oluşmaktadır. Patlatma deliği cidarları vasıtası ile kayaca aktarılan bu enerji, kayacı belli zonlarda, uzaklaşma ile ters orantılı parçalanma etkisi altına almaktadır (Şekil 1). Bir delik içerisinde patlatma bölgesi birincil zonda parçalanma bölgesi, ikinci zonda kırılma, üçüncü zonda çatlama ve dördüncü zonda sismik bölge etkisi oluşturur (Kahrıman, 2002).



Şekil 1. Patlatma deliği etki zonları plan kesiti (Esen, 2003)

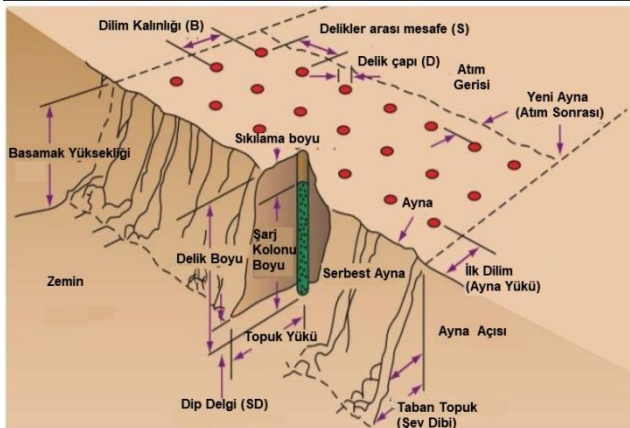
Patlayıcı maddeler, çevreden herhangi bir etkenin kimyasal katkısına ihtiyaç duyulmaksızın, ısı, darbe veya sürtünme sonucu hızlı bir şekilde reaksiyona girip, genelde gaz ürünleri ortaya çıkaran organik ve inorganik bileşimlerdir (Şekil 2). Bu kavramda çevreden herhangi bir etkenin katkısının olmaması özellikle vurgulanarak, atmosferik gazın konsantrasyon ve miktarına bağlı patlama sınırı olan metan gibi gazlar bu kavram dışında bırakılmıştır. Bu kavram altında değerlendirilen dinamit, atmosferik ortamın nitelik ve miktarına bakılmaksızın gerekli mekanik şok ile reaksiyon başlatabilmektedir (Sayınbatur, 2011). Patlayıcı Maddelerin teknik özellikleri, detonasyon hızı, detonasyon basıncı, kuvvet, yoğunluk, duyarlılık, suya dayanıklılık gibi özelliklerdir. Detonasyon patlama şoku anlamında olup, hızı ve basıncı parçalam mekaniği için önemli faktörlerdir. Duyarlılık detonasyonun başlaması için gerekli fiziksel etki olup, patlayıcılarda

“kapsüle duyarlı”, “yemlemeye duyarlı” kavramları ile belirtilmektedir (Bayraktaroğlu, 2003).



Şekil 2. Delik kesitinde kayaç parçalanma mekaniği (Fernberg, 2008)

Patlama mekanizmasının ürettiği enerji ile istenen parça boyutunun elde edilmesi için patlatma deliklerinin geometrik düzeni önemlidir. Deliklerin bir birlerine göre konumu etki alanlarının kesişimi bu konuda belirleyici faktördür. Birim patlayıcıya düşen birim kayaç yükü dengelendiğinde optimum bir parçalama elde edilebilmektedir. Ateşleme geometrisi ve düzeninde ateşleme elemanlarının (kapsüllerin) gecikmelerinden yararlanılarak oluşturulan tasarımlar ile istenilen yönlerde serbest yüzeyler oluşturulmakta ve patlayıcı enerjisinden en uygun şekilde yararlanılmaktadır. Delik geometrisinin önemi; tıkanan, işlevsizleşen, delmede veya şarj esnasında atlanan deliklerin atım sonrası çevresinde oluşturduğu olumsuz etkiden anlaşılmaktadır. Ateşleme geometrisi gecikme sırası yanlış bağlanan veyahut yanlış yönden başlatılan bir atımın oluşturduğu verimsiz patlatmalardan anlaşılmaktadır (Şekil 3).



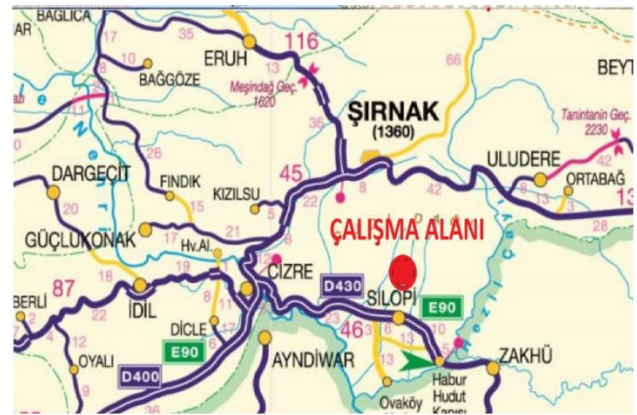
Şekil 3. Basamak patlatmaları tasarım

parametreleri (Dyno Nobel,2010)

Bu çalışmada Şırnak İli Silopi İlçesinde Aksu Köyü mevkiinde bulunan Harbul asfaltit kömürü açık işletmesinin dekapaj kazısı delme-patlatma çalışmaları değerlendirilerek, delik paterni, delik çapı, ateşleme sistemi değişiminin hacimsel verim üzerinde etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Şırnak ili, Silopi ilçesi, Aksu Köyü sınırlarında bulunan ve hukuki durumu Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü uhdesinde bulunan 12450 Sicil Nolu (Eski IR 2429) ruhsat sahası 2003 yılında Silopi Elektrik Üretim A.Ş. tarafından Rödövens Sözleşmesi karşılığı 30 yıl işletilmek üzere alınmıştır. Ruhsat dâhilinde 3 adet bilinen filon mevcuttur. Bunlar Harbul, Silip ve Üçkardeşler filonlarıdır. Ciner Grubu kuruluşu olan Silopi Elektrik Üretim A.Ş. Rödövens karşılığı aldığı sahanın Asfaltit Kömürünü değerlendirmek üzere 3 x 135 Mw/h kurulu gücü olan 3 ünite Akışkan yataklı termik santral kurmuştur. Termik santral Şırnak İli, Silopi İlçesi, Çalışkan Beldesi'nin kuş uçuşu 4.5 km kuzeybatısında ve Görümlü Beldesinin 3.5 km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 4).

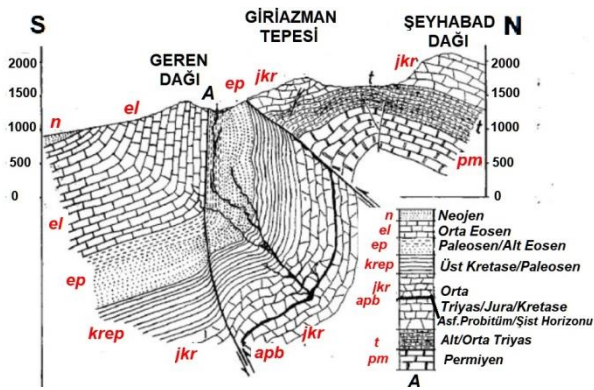


Şekil 4. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Kenar kıvrımları bölgesinde yer alan çalışma sahası, Arab bloku ile Anadolu levhasının muhtemelen miyosen sonlarına doğru çarpışması sonucu şekillenmiştir. Bölgedeki sıkışma rejimi, kuzeydeki kenet kuşağı doğrultusu ile uyumlu rejijonal yapı şekilleri

oluşturmuştur. Şekil değişimi önceleri kıvrımlanma ile karşılanmış, devam eden yan basınçlar ile büyük kırık hatlar oluşmuştur (Işıganer, 1985).

Şırnak Silopi İlçesi Aksu köyü mevkiindeki Harbul asfaltit filonu; vadinin S-SW yamaçlarında Midyat formasyonunun dik duran kalker banklarının hemen altında, Gercüş formasyonu kumtaşı tabakaları sınırına çok yakında, kırmızı, yumuşak, killi tabakalar arasında, çoğunlukla kaba yamaç molozunun örttüğü bir asfaltit filonudur. Harbol filonu hakkında jeolojik kesiti Şekil 5'te verilmiştir (Lebküchner, 1969).



Şekil 5. Harbul filonu kesiti (Lebküchner, 1969)

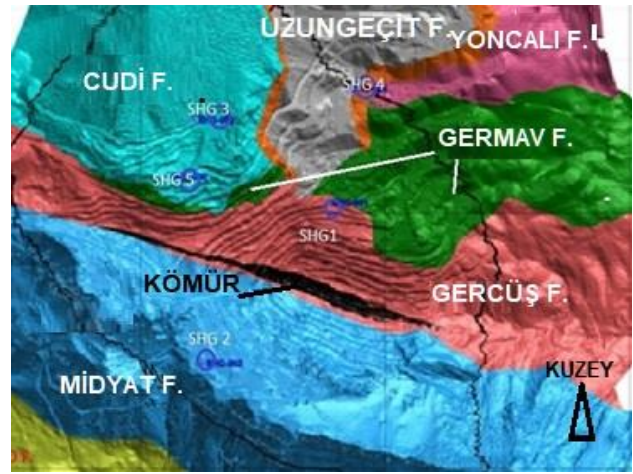
Çalışma alanı güney kısmında, doğu-batı doğrultusunda uzanan sırtları oluştururlar. Bej, bej-gri, kirli beyaz renkli, orta sert- bazen sert bir kireçtaşıdır. Alt kısımlarda yer yer karstik ve breş yapılı ince tebeşir ara tabakalıdır. Çoğunlukla 0.25-0.50m., bazı yerlerde 0.80-1.00m ye ulaşan kalınlıkta iyi tabakalanma gösterir. Formasyon kalınlığı 400-450 m olduğu tahmin edilmektedir. Yaşı Lütésiyen olarak verilmiştir (Işıganer, 1985).

Karasal koşullarda çökelmiş, silttaşı, kil, kumtaşı, çamurtaşı, anhidrit, dolomitik kireçtaşı seviyelerinden oluşur. Formasyon kalınlığı 600-700 m olduğu tahmin edilmektedir. Formasyonun yaşını eski çalışmacılar paleosen-alt eosen olarak vermişlerdir. Gercüş formasyonunun tipik rengi, kahve-kırmızı,

kiremit kırmızı bordo renk ve şarabidir. Lagün çökellerinin rengi ise yeşilimsi gri, koyu gri ve siyahımsı gridir (Işıganer, 1985).

Bu grupta kalın dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşları mevcuttur. Formasyonun tip kesiti, Şırnak-Uludere ilçesi güneyindeki Cudi dağında izlenir. Cudi grubu masif, orta-kalın tabakalı, açık gri, gri, koyu gri, siyahımsı gri, bej, sarımsı gri, kahverengimsi siyah renkli dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Egemen kaya türü dolomittir (Altınlı, 1966).

Çalışma sahası formasyonların plan görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Açık ocak ve çevresi jeolojik formasyonların plan görüntüsü

Çalışma sahasında, işletme tarafından 2017 yılında güncel jeoteknik veriler almak amacıyla, 5 adet jeoteknik sondaj yapılmış ve deneysel analizler yapılarak açık ocak sınırları dâhilinde karşılaşılabilecek tüm kayaç türleri/formasyonları temsilen güncel jeoteknik parametreler elde edilmiştir. Tablo 1'de jeoteknik sondajların lokasyonları yön ve derinlik bilgileri verilmiştir.

Tablo 2' de yapılan sondajlardan elde edilen farklı kayaç ve zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Jeoteknik kuyu lokasyon, yön ve derinlik bilgileri

Kuyu Adı	Amaç	Doğu	Kuzey	Z(m)	Azimet	Eğim	Derinlik(m)
SHG-001	Jeoteknik	288767.00	4135041.00	1222.00	0	-90	377
SHG-002	Jeoteknik	288238.42	41344424.66	1315.199	0	-90	500
SHG-003	Jeoteknik	288218.78	4135364.63	1468.496	0	-90	376
SHG-004	Jeoteknik	288845.00	4135486.00	1281.00	0	-90	561
SHG-005	Jeoteknik	288106.395	4135141.821	1433.487	0	-90	123

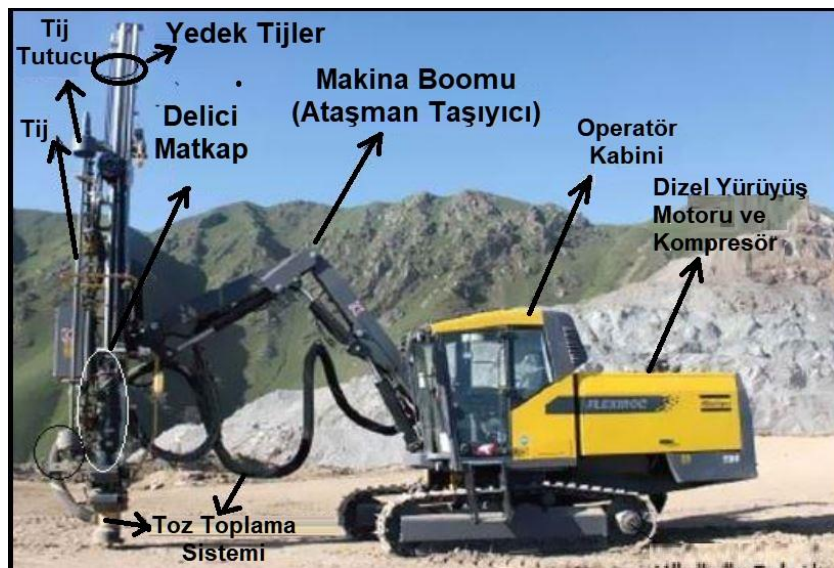
Tablo 2. Formasyonların kayaç parametreleri

Birim	Sınıfı	Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m ³)	Kohezyon (c) (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (θ)	Tek eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	GSI	mi
Gercüş	0-20 m Zemin Zayıf Kaya	18.9 24.7	730	5	28140	30	8
Midyat	Sağlam Kaya	25.68	7590	17			
Germav	Cudi Konağı Zemin Atölye Zayıf Kaya	17.3 25.21	400	9	31690	25	16
Cudi	Zayıf Kaya	26.11			25110	45	4
Uzungeçit	Zemin	21.4	60	30			
Bulakbaşı	Zayıf Kaya	24.9			24180	45	8
Asfaltit	Sağlam Kaya	13.94	7800	30.5			

Dekapaj çalışmalarında delme-patlatmalı kazı yöntemi uygulanmaktadır. Delici Makinalar ile delinen delikler patlatılmakta, patlatılan malzeme dizel hidrolik ekskavatörler ile kamyonlara yüklenmekte ve kamyonlar vasıtası ile döküm harmanlarına dökülmektedir. Açık ocak geometrisi batı ucu açık, doğu-batı doğrultulu, kuzey-güney kanatlı bir vadi

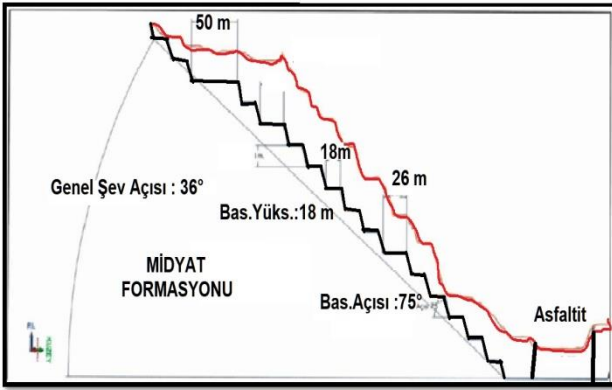
şeklinde. Mevcut durumda döküm harmanları kuzey – kuzey doğu ve batı yönlerinde bulunmaktadır.

İşletmede dekapaj çalışmaları ve kömür üretim çalışmalarında geneli 89 mm çaplı delik delen modern makineler kullanılmaktadır (Şekil 7).



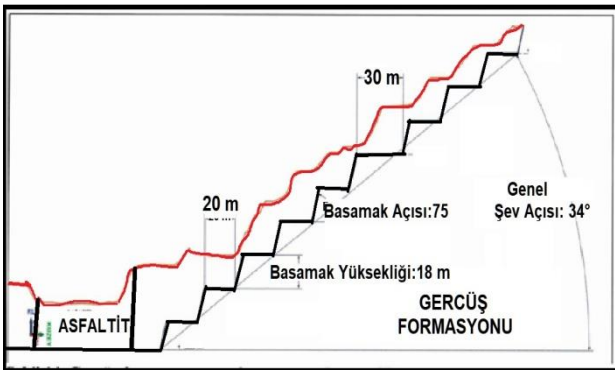
Şekil 7. İşletmede kullanılan tipik bir delici makine

Maden ömrü kazı projesi parametreleri olarak; Midyat formasyonundaki basamaklarda; basamak yüksekliği 18 m., genişliği 16 m., basamak açısı 75° dir. Ara emniyet basamakları; her beş basamakta bir basamak, basamak yüksekliği 18 m., genişliği 26 m., basamak açısı 75° , Emniyet Basamağı ; basamak yüksekliği 18 m., genişliği 50 m., basamak açısı 75° dir. Genel Şev Açısı: 36° (Şekil 8).



Şekil 8. Midyat formasyonu dekapaj kazı basamak parametreleri kesit görüntüsü

Gercüş Formasyonundaki basamaklarda; basamak yüksekliği 18 m., genişliği 20 m., basamak açısı 75° dir. Ara emniyet basamakları; her beş basamakta bir basamak, basamak yüksekliği 18 m., genişliği 30 m., basamak açısı 75° dir. Emniyet Basamağı ; basamak yüksekliği 18 m., genişliği 50 m., basamak açısı 75° , Genel Şev Açısı: $33-34^\circ$ dir (Şekil 9).



Şekil 9. Gercüş formasyonu dekapaj kazı basamak parametreleri kesit görüntüsü

Uygulama ve Başarımlar

Açık işletme sahasında dekapaj ve kömür üretiminde deneysel olarak belirlenmiş tasarımlar uygulanmaktadır. Sahada Gercüş, Midyat ve Cudi olarak üç ayrı formasyonda dekapaj çalışmaları yürütülmektedir. Bu formasyonların her biri ve formasyonlarında kendi içinde değişken zonları belirlenmiş olup, deneysel yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulamalar bu tespitlere göre yapılmaktadır. Saha uygulama kayıtları ve gözlemlerden yararlanılarak Tablo 3'teki değerler tespit edilmiştir. Teorik yaklaşımlardan yararlanılarak oluşturulan deneysel atımlar içinde sahada bölge tespiti, deliklerin aplikasyonu, işaretlenmesi, patlayıcı şarjı ve kapsül bağlantıları yerinde yönlendirilerek sonuçlar kaydedilmiştir. Bu sonuçlar hacimsel ve parça boyutu verimi açısından değerlendirilmiştir.

Aynı zamanda patlayıcı madde ateşleme elemanları, kapsüllerle ilgili olarak sarsıntı karşılaştırma testleri de yapılmıştır. Sahada mevcut atımlarda elektriksiz kapsüller kullanılmaktadır. Ancak saha atımları izleme sürecinde malzeme temini kaynaklı sahada kullanılmak zorunda kalınan emniyetli fitil ateşleme sistemi ile Nonel kapsül ateşleme sisteminin sarsıntı üzerinde etkisi Minimate Blaster cihazı ile ölçülerek sonuçlar analiz edilmiştir. Diğer bir taraftan sahada duraylılık yönünden kritik bölgeleri izlemek amacıyla kurulan IBIS Anlık Şev İzleme istasyonu (Şekil 10) görüş alanı dâhilinde bulunan bölgede gerçekleştirilen atımların anlık şev izleme istasyonu yer değiştirme, hız, ivme grafikleri üzerinde etkisinin araştırması amacı ile grafiksel veriler alınarak analiz edilmiştir.

Tablo 3. Mevcut durumda uygulanan tasarım parametreleri

Formasyon	Delik Çapı (mm)	Delikler arası mesafe (m.)	Dilim Kalınlığı (m.)	Tasarım Geometrisi
Midyat	89	3-4 m	2 - 3 m	Şeşbeş
Gercüş	89	2.5-4 m	2 - 3 m	Şeşbeş
Cudi	89-102	2 - 3 m	2 - 3 m	Şeşbeş



Şekil 10. IBIS şev izleme istasyonu

Boyut analizi için, atım sonrası alınan yığın fotoğrafları üzerinde Split Desktop 4.0. Programı kullanılarak boyut analizi yapılmıştır. Ölçekleme (Scaling) komutu ölçüleri bilinen referans nesne anlamına gelir, ölçekleme nesnelere seçilerek, cm., mm. inch vb. ölçek seçenekleri ile ölçek verilir (Ünlü, 2006). Literatür taraması yapılarak araştırmacıların patlatma tasarım parametre yaklaşımları tespit edilmiştir. Bu yaklaşımlar bir araya getirilerek saha karakteristik Tablo 4'te verilen jeoteknik veriler ile değerlendirilmiştir. Kazı sahasında mevcut 3 ayrı formasyon için her formasyonda 2-3 farklı patern parametre

değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda çalışma sahasında formasyonlarda çalışmakta olan makinaların delik çaplarına (89 mm, 110 mm ve 160 mm.) uygun paternler geliştirilmiştir. Patern geliştirilirken, dilim kalınlığı için saha formasyonlarının jeoteknik kayaç karakteristiklerini kullanabileceğimiz Pearse Bağıntısı (1) tercih edilmiştir. Delikler arası mesafe Tamrock (2), Sıkılama boyu için Gustafsson-Olofsson formülleri uygulanmıştır.

$$B = Kr \cdot 10^{-3} \cdot d \sqrt{\frac{Pd}{\sigma_c}} \quad (1)$$

Formül (1)'de verilen B ; dilim kalınlığı (m), Kr ; kayaç faktörü, d ; delik çapı (mm), Pd ; delikteki patlatma basıncı (MPa), σ_c ; kayaç çekme direnci (MPa)'dir.

$$S = 1,25 * B \quad (2)$$

Formül (2) de verilen B ;dilim kalınlığı(m), S ; delikler arası mesafedir.

Tablo 4. Parametre hesabı için kullanılan saha jeoteknik veriler

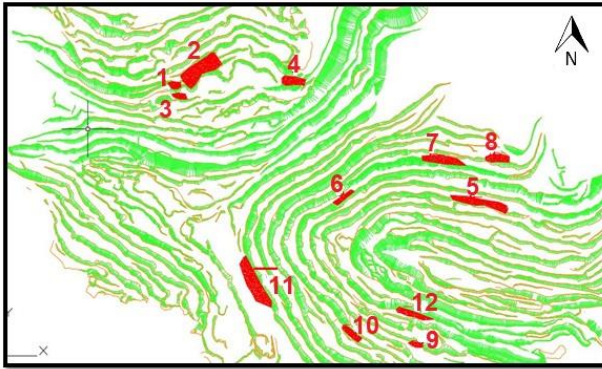
Kayaç Parametreleri	Sert Kireçtaşı	Orta Sert Kireçtaşı	Orta Sert Çamurtaşı	Sert Çamurtaşı	Yamaç Molozu-Kireçtaşı bloklu	Çatlaklı Killi Kireçtaşı
Çekme Dayanımı	32.2	23.1	31.7	32.8	44.3	56.7
Birim Hacim Ağırlığı	2.41	2.57	2.57	2.47	2.54	2.61
RQD	59.8	26.89	30.7	47.2	25	75

Bu hesaplamalarda çalışma sahasında Formasyonlarda çalışmakta olan makinaların delik çaplarına (89 mm,110 mm ve 160 mm.) uygun paternler geliştirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Tasarımlanan parametre sonuçları

	Mıdyat Formasyonu				Gercüş Formasyonu				Cudi Formasyonu			
	89	89	160	160	160	160	89	89	110	110	89	89
Delik Çapı (mm)	89	89	160	160	160	160	89	89	110	110	89	89
Basamak Yüksekliği (m)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Delik Taban Payı (m)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Delik Boyu (m)	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85
Delik Eğimi	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
Dilim Kalınlığı (m)	2.43	3.59	4.37	6.46	5.33	4.65	2.96	2.59	3.27	2.1	2.64	1.7
Delikler Arası Mesafe	3.04	4.49	5.46	8.07	6.66	5.81	3.71	3.23	4.08	2.63	3.3	2.13
Delik Düzeni	Şeşbeş											
Sıklama Boyu (m)	2.43	3.59	4.37	6.46	5.33	4.65	2.96	2.59	3.27	2.1	2.64	1.7
Kolon Şarj Boyu (m)	7.42	6.26	5.48	3.39	4.52	5.2	6.89	7.26	6.58	7.75	7.21	8.15
Kolon Şarj Miktarı (kg)	36.9	31.1	88.1	54.5	72.6	83.5	34.2	36.1	50	58.8	35.8	40.5
Yemleme (kg)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Özgül Şarj (kg/m ³)	0.56	0.21	0.41	0.12	0.23	0.34	0.35	0.48	0.42	1.19	0.46	1.25

Teorik yaklaşımlar ile oluşturulan ön tasarımlar Şubat 2018 ayında sahada uygulanmıştır. Uygulama yapılan lokasyonlar ocak halihazır haritası üzerinde gösterimi Şekil 11'de verilmiştir.



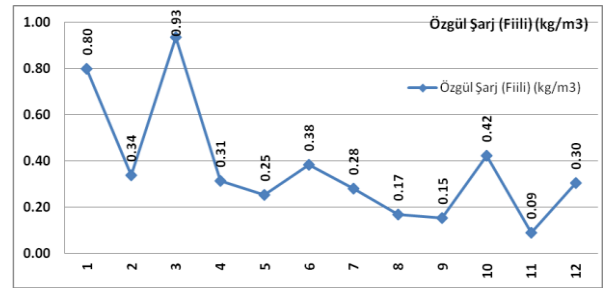
Şekil 11. Ön tasarımlı deneme atım bölgeleri halihazır plan üzerinde gösterimi

Atımlarda saha mevcut durum gerçekleşen 2017 yılı atımlarının özgül şarj ortalaması 0.37 Kg/m³ olup, deneme atımları için gerçekleşen özgül şarj, Şekil 12'de verilen grafikte gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere Cudi formasyonu deneme atımları olan 1, 2, 3, 4 nolu atımlardan, 1 ve 3 nolu atımlarda belirgin bir şekilde yüksek özgül şarj değerleri oluşmuştur. 2 ve 4 nolu atım paternlerinin özgül şarjı düşük olup verim artmıştır. 5., 6., 7. ve 8. Atımlar Gercüş formasyonu atımları olup 89 mm delik

Tablo 6. Deneme atımları ve boyut analiz kod karşılıkları

Deneme Atım No	Boyut Analiz Kodu	Delik Çapı	Delikler arası mesafe	Sıralar arası mesafe (m.)	Özgül Şarj (Fili)
----------------	-------------------	------------	-----------------------	---------------------------	-------------------

çapı için 5. Atım paterni, 160mm' lik delik çapı için 8. Atım paterni verimli olmuştur. 9., 10., 11. ve 12 atımlar Mıdyat formasyonu atımları olup, 89 mm delik çapı için 9. Atım, 160mm çap için 11. Atım paterni daha verimli olmuştur.



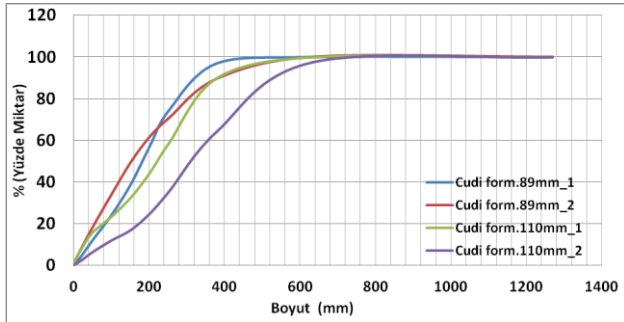
Şekil 12. Deneme atımları özgül şarj grafiği

Çalışma sahasında uygulanan deneme patlatmalarında kazılan hacimde parça boyutu analizi için Split Desktop 4.0 programı kullanılmıştır. Sahada patlatılmış malzeme yığınının yığını temsil edebilecek ortalama bölgelerden görüntü alınarak patlatma sonucu oluşan parça boyutu program aracılığı ile hesaplanmıştır. Split desktop programına girilen çalışma isimleri ile ait olduğu atım numaraları Tablo 6'da verilmiştir.

			(m.)		(kg/m ³)
1	Cudi form. 89mm_1	89 mm	2.5	1.7	0.80
2	Cudi form. 89mm_2	89 mm	3.3	2.5	0.34
3	Cudi form. 110mm_1	110 mm	2.5	2	0.93
4	Cudi form. 110mm_2	110 mm	4	3.25	0.31
5	Gercüs_1 (89mm)	89 mm	3.7	3	0.25
7	Gercüs_2 (160mm)	160 mm	5.8	4.5	0.28
9	Midyat form. 89mm_2	89 mm	4.5	3.6	0.15
10	Midyat form. 89mm_1	89 mm	3	2.4	0.42
11	Midyat form. 160mm_1	160 mm	8	6.5	0.09
12	Midyat form. 160mm_2	160 mm	5.5	4.5	0.30

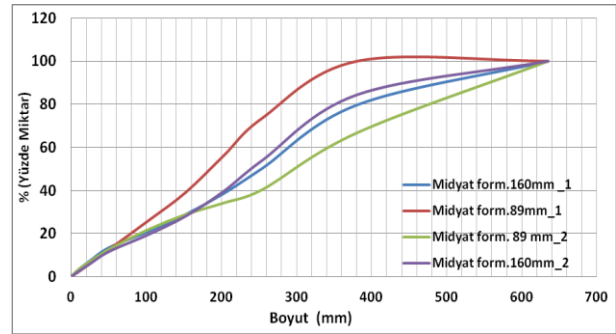
Yapılan deneme patlatmalarından 10 atımın görselleri üzerinde analiz yapılmıştır. Her formasyonun kendi içinde farklı çaplarda ve paternlerde yapılan atımları kendi aralarında boyut analiz karşılaştırma grafikleri üretilmiştir.

Cudi formasyonu için yapılan deneme atımları sonucu oluşan yığınlarda alınan görüntüler ile yapılan boyut analiz sonuçları ile ilgili grafik Şekil 13'te verilmiştir.



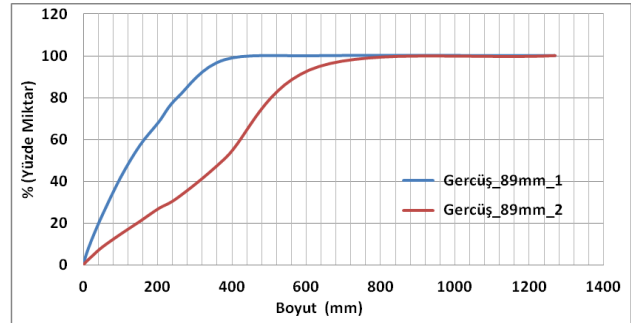
Şekil 13. Cudi formasyonu atımları boyut analiz karşılaştırma grafiği

Midyat formasyonunda yapılan atımların boyut analiz sonuçları karşılaştırma grafiği Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Midyat formasyonu atımları boyut analiz karşılaştırma grafiği

Gercüş formasyonunda yapılan atımların boyut analiz sonuçları karşılaştırma grafiği Şekil 15'de verilmiştir.

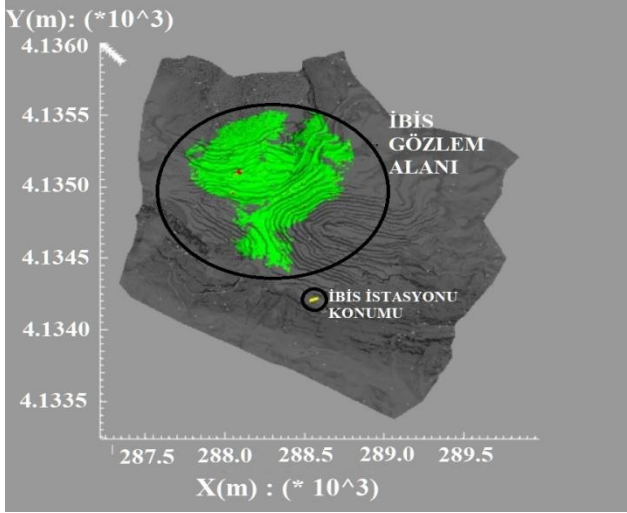


Şekil 15. Gercüş formasyonu atımları boyut analiz karşılaştırma grafiği

Şev izleme istasyonu yönlendirildiği cephe yönünde, sağa sola 75 derece, aşağı yukarı 15 derece olmak üzere bir tarama alanında radar nokta okumaları yaparak önceki okumaları ile anlamlı bir şekilde karşılaştırılabilecek bir veriye dönüştürmektedir (IDS Geo Radar, 2018).

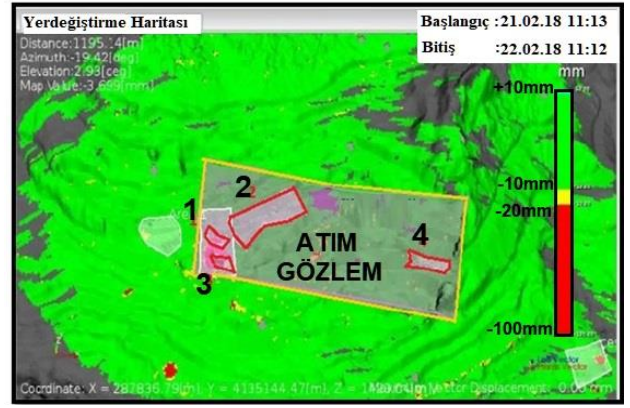
Mevcut durumda istasyonun bakış açısı Şekil

16'da verildiği gibidir. Stabilité yönünden diğér bölgelere göre zayıf olan Cudi, Germav ve Gercüş formasyonlarının geçişi olan bindirme hattı gözlenmektedir.

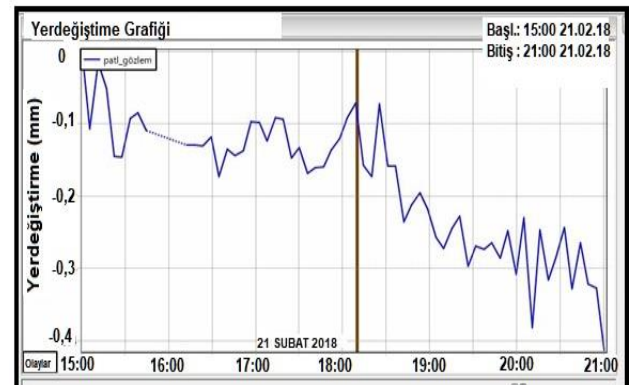


Şekil 16. Gercüş formasyonu atımları boyut analiz karşılaştırma grafiği

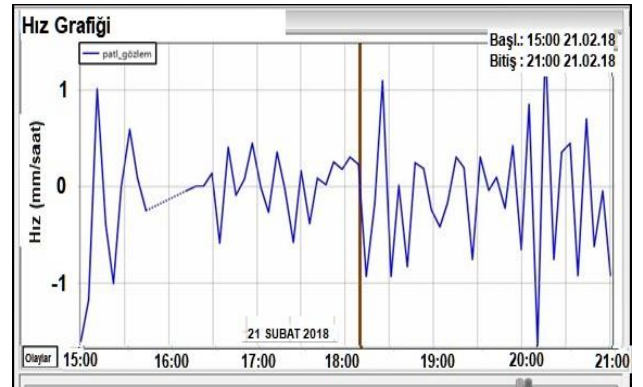
Deneme atımları gözlemi için IBIS programında çizilen birleştirilmiş alan Şekil 17'de verilmiştir. IBIS istasyonu bilgisayarı, gerçekleştirdiği radar okuma verilerini kaydetmekte ve kayıtlı olan herhangi bir zaman aralığı için harita ve grafikler üretebilmektedir. Bu grafikler; yer değıştirme, hız, hızlanma, zamanın hıza oranı değışkenlerinin zamana göre değışimi çizilmektedir. Programa yağış, patlatma saati gibi veriler girilerek grafiklerde gösterilebilmektedir. IBIS programına Cudi deneme atımlarının tümünü kapsayan "atım_gözlem" adında bir alan tanımlanmıştır. Atımların yapıldığı zamanı (21.02.2018 Saat18:10) kapsayacak şekilde aynı gün 15:00–21:00 zaman aralığı için yer değıştirme grafiği Şekil 18'de, Hız grafiği Şekil 19'da verilmiştir. Programa girilen Patlatma saati 18:10, grafiklerde görülmektedir. Şekil 18 ve 19'da verilen grafikler incelendiğinde atım saati olan 18:10'da anlık bir pik yaptığı gözlenmekte ancak 6 saatlik duruma bakıldığında daha yüksek yer değıştirme ve hızlar ile karşılaşılabilir.



Şekil 17. IBIS'te Cudi formasyonu atımları için çizilen alanlar



Şekil 18. IBIS'te Cudi formasyonu atımları alanı (patl_gozlem) 6 saatlik yer değıştirme grafiği



Şekil 19. IBIS'te Cudi formasyonu atımları alanı (patl_gozlem) 6 saatlik hız grafiği

Sonuçlar ve Tartışma

Açık işletme maden sahasında delme-patlatma çalışmaları dekapaj işinin en önemli ayağıdır. Delme – patlatma çalışmaları mevcut durumu gözlemlenmiş, parametreleri tespit edilmiştir.

Aralık 2017 mevcut patlatma uygulamaları sahada ayrıntılı incelenmiş ve yapılan hesaplamalar neticesinde; 1.440.149 m³ dekapaj hacmi için toplam 527 200 Kg ANFO, 7.691 Kg Dinamit kullanıldığı tespit edilmiştir. Özgül Şarj 0.37 Kg/m³ olarak gerçekleşmiştir.

Cudi formasyonu deneme atımları 89 mm delik çapı uygulaması için iki ayrı patern geliştirilmiştir. 2. Atım için gerçekleşen özgül şarj 0.34 kg/m³ olmuştur. 1. ve 2. Atımlar karşılaştırıldığında, uygun verimde olan 2. Atım patern uygulamasında özgül şarj %8 azaltılmıştır. Cudi formasyonunda 110 mm. delik çapı 3. ve 4. deneme atımı yapılmıştır. 4. Atım için gerçekleşen özgül şarj 0.31 kg/m³ olmuştur. Cudi 3. ve 4. atımlar karşılaştırıldığında, 4. Atım patern uygulamasında özgül şarj %16 azaltılmıştır.

Gercüş formasyonu 89 mm delik çapı için yapılan 5. ve 6. Deneme atımlarında; 5. Atım 0.25 kg/m³ özgül şarj elde edilmiştir. 5. Atım özgül şarjında %32 azalma sağlanmıştır. Gercüş formasyonu 160 mm delik çapı için yapılan 7. ve 8. Deneme atımlarında; 8. Atım 0.17 kg/m³ özgül şarj elde edilmiştir. 8. Atımda %54 azalma sağlanmıştır.

Midyat formasyonu 89 mm ve 160 mm delik çapları için yapılan 9, 10, 11 ve 12 nolu atımlarda 160mm daha verimli olduğu görülmüştür, kırılğan yapıdaki bölgelerde yapılan atımlarda özgül şarj %50 üzerinde azalma sağlanırken, 160 mm delik çapı 12 nolu atım paterni ile özgül şarjda %19 azalma sağlanmıştır.

Yapılan deneme atımlarında hacimsel verim ve parça boyutu açısından, Gercüş ve Midyat formasyonlarında 160 mm delik çapının, Cudi formasyonunda 110 mm delik çapının daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Sarsıntı analizleri sonucunda nonel kapsüllerin çevre ve şev stabilite güvenliği açısından daha güvenli olduğu teyit edilmiştir. Şev İzleme İstasyonu ile Cudi bölgesi atımlarında yapılan incelemede, deneme atımları 6 saatlik izleme aralığında -1.4 mm ile -0.15 aralığında bir yer değiştirme tespit

edilmiş olup, patlatmasız izleme zaman dilimlerindeki değerlere yakın bir değer olduğu, patlatma faaliyetlerinin olumsuz yönde bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Yapılan deneme atımlarının tümünde boyut analizi sonuçları ve saha gözlemlerine göre yüklenebilir ve nispeten patarsız malzeme elde edilmiştir. Deneme atımları sonucunda, özgül şarj 0.37 Kg/m³'ten 0.28 Kg/m³'e düşmüş, yaklaşık %24 iyileştirme sağlanmıştır. Deneme atımlarında seçilen 110 mm ve 160 mm delik çapları için uygun patern kullanılması halinde, özgül şarjın 0.09 Kg/m³ azaltıldığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda (patlayıcı birim fiyatı:0.50 \$/Kg) birim kazı hacmi maliyetlerinde 0.045 \$/m³ tasarruf sağlandığı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Alkaş, İ., (1989). Üçkardeşler, Harbul, Silip (Silopi - Mardin) asfaltit filonlarında 1985-1986 yıllarda yapılan sondajlara ait rapor, MTA, Ankara, 1-18.
- Altınlı, İ., (1966). Doğu ve Güneydoğu Anadolu jeolojisi. MTA, 66, 35-77.
- Bayrakçı, E., (2007). Aydın Linyit İşletmesinde delme-patlatma işlemlerinin iyileştirilmesi, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bayraktaroğlu, B., (2003). Kömür dekapajında optimum delme-patlatma tasarımı Garp Linyitleri İşletmesinde bir saha çalışması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dyno Nobel, (2010). Blasting and Explosives Quick refernce guide, Austuralia,1
- Esen, S., Onederra, I. ve Bilgin, H.A., (2003). Modelling the size of crushed zone around a blasthole, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*, 40, 485-495.
- IDS Geo Radar, (2018). IBIS-FM Real-time critical monitoring and long term planning at great operating distance, Italy, <https://idsgeoradar.com/products/interferometric-radar/ibis-fm> , Erişim tarihi Mayıs 25, 2018.
- İşıganer, T., (1985). Mardin-Silopi-Harbul (Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına ait Jeoloji Raporu, MTA, Ankara.
- Kahriman, A., (2002). *Maden ve taş ocaklarında kaya patlatma tekniği*, İstanbul Ün. Yayını, İstanbul.

- Lebküchner, R.F., (1969). Güneydoğu Türkiye'deki asfaltik maddelerin zuhur ve teşekkülleri, *MTA* 72, 124-145.
- Olofsson, S.O., (1988). *Applied explosives technology for construction and mining, applied explosives technology*, Sweden.
- Sayınbatur, O. (2011). Açık ocak maden işletmelerinde patlatma delikleri ve patern tasarımı üzerine bir araştırma, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- SEÜAŞ ÇED, (2010). Şırnak-Silopi termik santrali, santrale yakıt sağlayan asfaltit sahası ve kireçtaşı sahaları kapasite artışı projesi ÇED Raporu, SEÜAŞ.
- Ünlü, A.Ö., (2006). TKİ-Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarında delik geometrisinin parça boyutu ve dekapaj maliyeti üzerinde etkisi, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Examination of drilling-blasting Works in Silopi Harbul surface mining site

Extended Abstract

Design development was aimed in order to evaluate and improve the current conditions of stripping at Silopi Harbul Open Mining Site in terms of volumetric efficiency, dimension analysis and stability. In this context, applied drilling-blasting parameters were determined. The preliminary designs were prepared with theoretical approaches, and started to be implemented on site. The patterns implemented were monitored on site and respective results were recorded. The volumetric efficiency was interpreted, and specific charge rates were compared based on these results. The photographs representing the stripping bulk were taken, and subjected to dimensional analysis with the image dimensional analysis software Split Desktop 4.0. The results obtained from the dimensional analysis were compared based on formation. The dynamic effect of the testing pulses created at the monitoring site by using the slope monitoring station IBIS Radar system installed on the worksite, on stability of the slope at pulse hours was investigated. December 2017 was chosen as the sample month for drilling-blasting implementation detection of the field. Sample month was examined in detail and the results of the calculations are as follows; Specific Charge Rate was detected as 0.37 Kg/m^3 by using 527 200 Kg ANFO and 7.691 Kg Dynamite for $1.440.149 \text{ m}^3$ stripping. Two different patterns were developed for Cudi formation with 89 mm slot diameter. Specific charge rate was detected as 0.34 kg/m^3 in the 2nd Pulse. When 1st and 2nd pulses are compared, specific charge rate decreased by 8% in the 2nd Pulse which was at the suitable efficiency. 3rd and 4th Pulses were conducted on Cudi formation with 110 mm slot diameter and specific charge rate was found as 0.31 kg/m^3 in the 4th Pulse. In the 4th Pulse pattern application, specific charge rate decreased by 16%. In the 5th and 6th Pulses carried out for Gercüş formation with 89 mm slot diameter; 0.25 kg/m^3 specific charge rate was obtained in the 5th Pulse. A 32% decrease of the specific charge was achieved in the 5th Pulse. In the 7th and 8th Testing Pulses carried out for Gercüş formation with 160 mm slot diameter; 0.17 kg/m^3 specific charge rate was obtained in the 8th Pulse. A 54% decrease of the specific charge rate was achieved in the 8th Pulse. It was found out that 160 mm slot diameter was more efficient in the 9, 10, 11 and 12th Pulses carried out

for Midyat formation with 89mm and 160mm slot diameters, and pulses performed in areas with brittle structure showed a decrease over 50% of specific charge rate, while a %19 decrease in specific charge rate was achieved at 160 mm slot diameter in the 12th pulse. In the examination carried out with IBIS Slope Monitoring System on Cudi region pulses, a displacement between -1.4 mm and 0.15 mm was found in the six-hour observation period, that it was a close to the values in the non-blasting observation period and it did not affect the slope stability of blasting activities negatively. Dimension analysis results were evaluated. In the 1st pulse performed on Cudi formation of 89 mm slot diameter, 97,04% quantitative rate for dimension range between 0-381 mm was found; 89,57% in the 2nd pulse, 90,01% in the 3rd pulse performed on 110 mm slot diameter and 64,32% in the 4th pulse. In the combined results, material quantity of the Cudi formation for dimension range between 0-635 mm was found as 99,23%. In the 5th pulse performed on Gercüş formation with 89 mm slot diameter for the dimension range between 0-381 mm, the quantity rate was found as 98,11% and in the 7th pulse performed on 160 mm slot diameter was found as 50,81%. Combined result for the dimension range between 0-635 mm was detected as 97,01%. In the 9th pulse performed on Midyat formation with 89 mm slot diameter for dimension range between 0-381 mm 66,89% quantity rate was found; 100% in the 10th pulse, 79,77% in the 11th pulse performed on 100 mm slot diameter and 84,46% in the 12th pulse was found. All of the material quantity rates of performed testing pulses of Midyat formation for the dimension range between 0-635 mm were 100%. According to the dimensional analysis results and field observations, transportable and materialless material was obtained. It was found out in the testing pulses performed for volumetric efficiency and particle dimension that 160 mm slot diameter was more efficient in Gercüş and Midyat formations, and 110 mm slot diameter was more efficient in Cudi formations. As a result of the performed testing pulses, specific charge rate dropped from 0.37 Kg/m^3 to 0.28 Kg/m^3 , and a 24% improvement was achieved. It was determined that using suitable patterns for 110 mm and 160 mm slot diameters during testing pulses decreases specific charge by 0.09 Kg/m^3 . Therefore, excavation volume costs per unit (unit cost of explosive: $0.50 \text{ \$/Kg}$) decreases $0.045 \text{ \$/m}^3$.

Keywords: Asphaltite coal, Size Analysis, Drilling, Volumetric efficiency, Harbul Phylon, Blasting, Silopi

Madencilikte Politik Risk Değerlendirmesi

Political Risk Assessment in Mining

Erhan Çetin^{1*}, Mahmut Uçan²

¹Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, erhan@dicle.edu.tr

²Medos Madencilik, Diyarbakır, mahmut.ucan92@gmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 2 Ocak 2020
Düzeltilme: 28 Şubat 2020
Kabul: 10 Mart 2020

Anahtar kelimeler:

Madencilik, politik risk, risk değerlendirme, risk faktörü

ÖZ

Ekonomi sektörleri arasında hammadde temini anlamında birincil sektörde konumlanan madencilik sektörü diğer sektörlerden önemli farklılıklar barındırır. Bu farklılıklardan en önemlileri arasında, maden ocaklarının maden yataklarının bulunduğu yerde açılması ile uzun ömürlü işletmeler olmaları ve üretime geçmeden önceki hazırlık aşamalarının uzun yıllar alması bulunmaktadır. Bu özellikler, maden işletmelerinin konuşlandığı coğrafyadaki politik yapılardan ve olaylardan etki derecelerini artırmaktadır. Politik belirsizlikler ve buna bağlı politik risk, madencilik diğer sektörlerdeki işletmelerden çok daha fazla ilgilendirmektedir. Bu çalışmada politik risk, sosyal hayat, bürokrasi, iş hayatı ve madencilik olarak dört ayrı kategoride incelenmiş ve madencilikte öne çıkan bazı ülkeler ile yeryüzünün farklı bölgelerinden madencilikle ilgili ülkelerin risk değerlendirme yapılarak, uluslararası madencilik yatırımcılarına, yatırım kararı vermeden önce kullanabilecekleri bir risk veri kümesi sunulmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.665140

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2 January 2020
Revised: 28 February 2020
Accepted: 10 March 2020

Keywords:

Mining, political risk, risk assessment, risk factor

ABSTRACT

The mining sector, which is located in the primary sector among the economic sectors, in terms of raw material supply, has significant differences from other sectors. Among these differences, the most important ones are that the mines are opened in the place where the mineral deposits are located and they are long-lasting enterprises and the preparation stages before the production take many years. These characteristics increase the degree of influence from the political structures and events in the geography where mining operations are located. Political uncertainties and the associated political risks are more concerned with mining than businesses in other sectors. In this study, political risk, social life, bureaucracy, business life and mining have been analyzed in four different categories and a risk assessment of some of the prominent countries in mining and mining related countries from different parts of the world were conducted and a risk dataset was presented to international mining investors before making an investment decision.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Erhan ÇETİN
✉erhan@dicle.edu.tr

Giriş

Ekonomi sektörleri arasında hammadde temini anlamında birincil sektörde konumlanan madencilik, imalat sanayisinden oluşan ikincil sektörün gerek hammadde gerekse enerji ihtiyacını karşılar. Madencilik, gayri safi küresel hasılanın yaklaşık %5'ini üretir.

Ekonomik faaliyetler bir takım riskleri bünyelerinde barındırırlar. Politik belirsizlikler yatırımcıların kararını etkileyecek en önemli belirsizlik kaynaklarından. Buradaki belirsizlik yatırım kararlarında oldukça etkilidir.

Madencilik, diğer sektörlerle kıyasla, yüksek oranda ekonomik risk içerir. Bu riskliliğin nedenleri maden yatağının rezervi, tenörü, jeolojik ve mineralojik yapısı ile cevherin teknolojik kazanımı gibi özelliklerin tahmininden kaynaklanan belirsizlikler ile teknolojik, ekonomik ve politik belirsizliklerdir.

Sanayi hammaddelerinin büyük kısmını karşılayan madencilik, diğer sektörlerle nazaran önemli farklılıklar içerir.

Bunlardan birisi, madencilikte temel ürün olan maden kaynaklarının bilinemez oluşudur. Bu kaynaklarla ilgili ancak rezerv tahminleri yapılarak işe girilir. Bu tahminler belirsizlikler içerir. Bir maden yatağının tenör-tonaj dağılımının tam olarak bilinebilmesi için, o yatağın işletilip tüketilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, tenör-tonaj dağılımındaki belirsizlikler madencilik sektörüne özel bir risk kaynağıdır denebilir. Yine maden işletmeleri uzun ömürlüdürler ve üretime geçmeden önceki hazırlık aşaması uzun yıllar alabilir. Ayrıca, maden ocaklarının maden yataklarının bulunduğu yerde açılması, maden yataklarının bulunduğu yerde çıkarılması zorunluluğu vardır. Bir diğer farklılık da, madenlerin tükenir varlıklar oluşudur. Bundan dolayı, maden kaynaklarının çıkarılması, milli servetin tüketilmesi şeklinde algılanır.

Tüm bunlardan dolayı, maden yatağının bulunduğu coğrafyada bulunan politik riskler, madencilik sektörü için önemli belirsizlikler içerebildiği için, önemli bir risk kaynağıdır.

Politik risk, bir ülkedeki politik davranışların belirsizliği kaynaklı bir risktir. Politik riskler, her sektör için geçerli olsa da, yukarıda sıralanan madencilığe özel bazı durumlardan dolayı, madencilikteki önemi diğer tüm sektörlerden çok daha fazladır.

Politik risk özellikle birden fazla ülkede yatırım yapan ekonomik yapılar için dikkate alınması gereken bir durumdur.

Ayrıca politik risk, sadece uluslararası ekonomik faaliyetlerin konusu değil, aynı ülke içerisindeki farklı bölgelerdeki politik ve toplumsal farklılıklar kaynaklı belirsizlikler de politik risk oluşturabildiklerinden dolayı, ulusal işletmeler için de söz konusu olabilir. Gavelan ve Dessureault [1], madencilik faaliyetlerinin, yerel değişkenleri göz önünde bulunduran önlemleri geliştirecek, yerel ölçekte çalışmalar gerektirdiğini savunmuş ve bir projenin özgül politik risk profilini tanımlarken yerel sosyal ve politik değişkenleri dikkate alan bir metodoloji kullanmıştır.

Madencilik sektöründe politik risk konusunda yapılan çalışmalarda genellikle, politik riske niceliksel değil niteliksel bakılarak, politik riski azaltacak önlemler üzerinde durulmuştur [2, 3]. Thomas [4] ve Chiesa [5], madencilik sektöründe politik risk değerlendirmesinin önemine değinmiş, politik yapılarıdaki olası olumsuz değişimleri karşılamaya yönelik tedbirler üzerinde durmuşlardır.

Çoğu firma, risk ayarlaması için, iskonto oranında, en yaygın olarak % 15 civarında, yukarı yönlü bir düzeltme yapar ve aşırı politik risk durumunda bu oran yukarıya, rekabet ortamında ise aşağıya ayarlanır [6].

Madencilik şirketlerinin, işletmelerinin karşılaşılabilecekleri politik riskler hakkında kapsamlı bir değerlendirme yapmaları ve bunları hafifletmek için gerekli adımları belirlemeleri gerekmektedir [7].

Birçok şirket ülkelerin kendi risk değerlendirme profillerini üretmeyi tercih etmekte; örneğin BP (British Petroleum)'nin risk değerlendirme stratejisi, ülkeleri risklilik temelinde sıralama ve her bir ülkenin politik riskini karşılayacak

şekilde bir projeden gereken minimum fayda seviyesini tahmin etmek şeklindedir [6].

Bu çalışmada, uluslararası maden işletmeleri için kriter teşkil edecek bir politik risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Ülkelerin politik yapılarındaki istikrar veya dalgalanmaların yatırım kararları açısından önemi vurgulanarak, ekonomik işletmeler için risk kaynağı olan belirsizliklerin değerlendirilmesi, bu çalışmanın konusudur.

Bunun yanında, ülkelerin politik yapılarındaki mevcut pozisyonlarında değişiklik olmaması risk kaynağı değildir. Politik yapının yatırıma elverişli bir ortam sunup sunmadığını değerlendirmek, politik değerlendirmedir, ancak politik risk değerlendirmesi değildir. Politik risk değerlendirmesi, var olan politik yapıdaki belirsizlikler kaynaklı politik riski ölçer.

Politik yapılar sosyal bilimler konusu olup, sayısallaştırılması işlemi öznel yargılar içerebilir. Ancak, politik riskin değerlendirilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, politik yapıların mevcut durumu ve ilgili belirsizliklerin sayısallaştırılması amacıyla bir takım araştırma kuruluşlarının sayısal verileri kullanılmıştır. Bunlar bir sistem çerçevesinde ele alınmış. Madencilik sektöründe ülkeler bazında politik yapılar değerlendirilmiş ve bunlara ait belirsizlikler kaynaklı riskler değerlendirilmiştir.

Politik Yapı Endeksleri

Politik belirsizliğe ve riske dair bir veri paketi oluşturmak için uluslararası kuruluşların ülkelere dair verdiği raporlardan nicel değerlendirmeler yapıp karşılaştırmaya uygun veriler oluşturulmuştur.

Bu karşılaştırmaları oluştururken uluslararası platformlarda madencilik sektörüne uygun değerlendirmeler yapabilecek raporlar göz önünde bulunmuştur.

Bu raporlar kendi içinde 4 ayrı başlık altında tesis edilip incelenmiştir. Bunlar, sosyal hayat, bürokrasi, iş hayatı ve son olarak madencilik bölümleridir.

Sosyal Hayat

Ülkenin özgürlük konusundaki durumu, terör olayları, barış iklimi ve son olarak da ülkede eğitimin kalitesi bu bölümün konu başlıklarıdır.

Dünya Özgürlük Anketi Endeksi

Freedom House, dünya çapında özgürlük ve demokrasinin gelişimini hedefleyen bir sivil toplum kuruluşudur. Freedom House tarafından 1973 yılından itibaren yayınlanan Dünya Özgürlük Anketi, ülkelerin bireysel özgürlükler ve siyasi haklar temelinde ölçmektedir [8].

Anketin yararlandığı kaynaklar, yabancı ve yerel haber raporları, akademik analizler, hükümet dışı kuruluşlar, düşünce kuruluşları, bireysel iletişimle edinilen bilgiler ve bölgeye yapılan ziyaretler olarak sayılmaktadır. [9]

Küresel Terörizm Endeksi

Küresel Terörizm Endeksi, bağımsız bir düşünce kuruluşu olan Ekonomi ve Barış Enstitüsü (IEP) tarafından 2000 yılından itibaren her yıl yayınlanan bir rapordur. Söz konusu rapor, terörizm etkisine dayalı olarak ülkelerin sıralamasını veren bir endeks üretir.

Bu endekste terör: “Devlet dışı örgütler/aktörler tarafından, korku, baskı ve tehdit kullanarak, politik, ekonomik, dini veya sosyolojik amaçlara ulaşmak için yapılan her türlü yasa dışı şiddet eylem ve faaliyetleri” olarak tanımlanmıştır [10].

Küresel Barış Endeksi

Küresel Barış Endeksi, Ekonomi ve Barış Enstitüsü (IEP) tarafından hazırlanmakta ve yıllık olarak yayımlanmaktadır. Endeks, dünyanın odağını, insan refahı ve ilerlemesinin pozitif, ulaşılabilir ve somut bir ölçüsü olarak barışa yönlendirmeye adanmıştır [11].

Endeks, bir ülkedeki şiddet ve şiddet korkusunu, devam eden iç ve uluslararası çatışmalar, toplumsal güvenlik ve militarizm olmak üzere, üç temel alanda 23 gösterge kullanılarak ölçmektedir [12].

Eğitim Kalitesi Endeksi

Dünya Ekonomi Forumu (WEF) tarafından hazırlanan eğitim kalitesi endeksinde, orta ve yükseköğretime kayıt oranları ile verilen eğitimin iş dünyası tarafından değerlendirilmesine yer verilmiş, ayrıca sürdürülebilir mesleki eğitim de bu alt endekse dahil edilmiştir [13].

Bürokrasi

Açık bütçe endeksi, hukukun üstünlüğünün endeksi, şeffaflık ve yolsuzluk endeksi, küreselleşme endeksi, politik istikrar endeksi bu kısımda incelenir.

Açık Bütçe Endeksi

Açık Bütçe Endeksi, ülkelerin merkezi yönetim bütçeleri şeffaflığını mukayeseli ölçen bağımsız bir endekstir.

Bağımsız enstitü ve araştırmacıların ortaklığıyla oluşturulan Uluslararası Bütçe Ortaklığı İnsiyatifi, Bütçe Şeffaflığı Endeksi ile ülkeleri bütçe hazırlama ve uygulama süreçlerindeki şeffaflıklarına göre sıralamaktadır [14].

Hukukun Üstünlüğü Endeksi

Dünya Adalet Projesi (WJP) tarafından 2008'den bu yana her yıl "Hukukun Üstünlüğü Endeksi" yayımlanmaktadır. Endeks, ülkelerin hukukun üstünlüğüne yönelik durumlarını, hükümet yetkileri üzerinde kısıtlamanın olması, yolsuzluğun önlenmesi, düzen ve güvenlik, hükümet şeffaflığı, temel haklar, adil hukuk, cezai adalet ve idari yaptırımlar başlıkları altında incelemektedir. [15]

Yolsuzluk Algı Endeksi

Yolsuzluk Algı Endeksi, değerlendirilen ülkenin kamu sektörünün yolsuzluk bağlamında nasıl algılandığına dayanarak ülkeleri puanlamakta ve sıralamaktadır. Anket çoğunlukla dünya çapında yolsuzluk ölçümlenmesinde sıkça kullanılan bir göstergedir.

Yolsuzluk seviyelerinin ölçülmesi, Uluslararası Şeffaflık Örgütü (TI) tarafından 1995 yılından bu yana gerçekleştirilen bir projedir ve her yıl, ortaya çıkan yeni verilerle çalışmalar güncellenmektedir. [9]

Küreselleşme Endeksi

İsviçre Ekonomi Araştırmaları Enstitüsü (KOF) tarafından yayımlanan endeks, küreselleşmeyi ekonomik, sosyal ve politik olarak üç temel boyutta ele almakta, ayrıca ülkelerin ekonomik, politik ve sosyal küreselleşme seviyelerini de belirlemektedir. [14]

Politik İstikrar Endeksi

Politik İstikrar Endeksi, politik olarak motive olmuş şiddet ve terörizm de dahil olmak üzere, hükümetin anayasaya aykırı veya şiddet içeren yollarla istikrarsızlaştırılması veya devrilme ihtimalini algılar [16].

İş Hayatı

İş hayatı ile ilgili olarak, bu çalışmada, ekonomik özgürlük endeksi, küresel rekabetçilik endeksi ve son olarak da iş yapma kolaylığı endeksleri kullanılmıştır.

Ekonomik Özgürlük Endeksi

ABD merkezli Miras Vakfı (HF), 1995'ten bu yana her yıl ülkelerin ekonomik özgürlük derecelerini ölçen, Ekonomik Özgürlük Endeksi yayınlamaktadır [17].

Ekonomik Özgürlük Endeksinde eşit ağırlık verilmiş 4 madde vardır: Hukukun üstünlüğü, kamunun büyüklüğü, yasal düzenlemede etkinlik ve piyasaların açıklığı.

Küresel Rekabet Endeksi

Merkezi İsviçre'nin Cenevre kentinde bulunan Dünya Ekonomik Forumu adlı uluslararası araştırma enstitüsü, her yıl Küresel Rekabet Raporu adı altında bir rapor yayınlamaktadır [18].

İş Yapma Kolaylığı Endeksi

İş Yapma Kolaylığı endeksi şirket kurma ve işletme, sınır ötesi ticaret yapma, vergi ödeme ve tasfiye işlemleri gibi işletmelerin yaşam döngüleri boyunca geçerli olan düzenlemeleri analiz etmekte, iş yapma kolaylığı sıralaması 10 düzenleme alanını içermekte ve 189 ekonomiyi kapsamaktadır [9].

Madencilik

Madencilik sektörüne yönelik politik risk değerlendirmesi kapsamında, madencilik ile ilgili endeksler de yer almaktadır. Bu kategoride, madencilik anketi endeksi ve madencilik katkı endeksi bulunmaktadır.

Madencilik Anketi Endeksi

Madencilik Anketi Endeksi, hükümetlerin yaptığı sektöre ilişkin kararları ve ülkelerin mineral potansiyellerini inceleyip, sonuçların bir veri setiyle yatırımcıya iletilmesini sağlamaktadır. Bu durumda bu sektörde yatırım yapan yatırımcı hangi ülkede ne gibi durumlarla karşılaşacağını görebilmektedir.

Madencilik ile ilgili vergilendirme, ruhsat, çevre dahil her türlü mevzuattaki değişimler, madencilik anketi endeksi kapsamında değerlendirilmekte ve ölçülmektedir.

Anket, maden varlıklarının ve vergilendirme ile maden hukuku gibi kamu politikası faktörlerindeki belirsizliklerin madencilik yatırımlarını nasıl etkilediğini değerlendirmektedir [19].

Madencilik Katkı Endeksi

Madencilik Katkı Endeksi (MCI), madencilik sektörünün ulusal ekonomilere katkısını tek bir sayı ile ilişkilendirir. MCI puanları ve sıralamaları, madencilik bir ülkenin ekonomik yaşamında göreceli öneminin bir göstergesidir [20].

Ülkeler Temelinde Politik Risk Değerlendirmesi

Uluslararası iş çevrelerinde politik istikrarsızlığın değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, uluslararası çevrelerdeki değişimlere hassas olan başarılı uluslararası işletmeler bu çevrelerdeki iş yapma riskini değerlendirmelidirler. Uluslararası işletmeler, riskleri yönetmek için politik risk değerlendirmesinden faydalanmalıdır.

Bu çalışmada, politik risk değerlendirmesi yapılırken, objektif değerlendirme sistemleri

oluşturmak için, uluslararası kuruluşların bu hususta yol gösterici olacak raporlarını değerlendiren bir algoritma oluşturulmuştur.

Öncelikle, verilerin doğru analiz edilmesi için, tüm endekslerde sonuçların 0 ile 100 arasında olmasına yönelik düzenlemeler yapılmıştır.

Algoritmaya göre, her bir endeks için, farklı yıllardaki değerlerin ortalamaları, varyans ve standart sapmaları aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{Endeks ortalaması: } \mu_e = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Burada;

x_i = farklı yıllardaki endeks değeri,

i = yıl sayısı,

n = endeks için toplam yıl sayısıdır.

$$\text{Endeks varyansı: } \sigma^2_e = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_e)^2}{n} \quad (2)$$

$$\text{Endeks standart sapması: } \sigma_e = \sqrt{\sigma^2_e} \quad (3)$$

Söz konusu endeksler 4 temel başlık altında kategorize edilmiştir. Bunlar; sosyal hayat, bürokrasi, iş hayatı ve madenciliktir.

Bu verilerden de bölüm ortalama değerleri, bölüm standart sapma ortalama değerleri ve yine bölüme ait varyans değerleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\text{Bölüm ortalaması: } \mu_b = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{e_i}}{n} \quad (4)$$

$$\text{Bölüm varyansı: } \sigma^2_b = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma^2_{e_i}}{n} \quad (5)$$

$$\text{Bölüm standart sapması: } \sigma_b = \sqrt{\sigma^2_b} \quad (6)$$

Her bir bölümün ortalamasından genel ortalamaya ulaşılır ve ardından, varyans üzerinden de genel standart sapma bulunur. Bu çalışmada dört kategoriye temsilen dört bölüm olduğu için, politik yapı ortalama değeri ile standart sapma aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\text{Genel ortalama: } \mu = \frac{\sum_{i=1}^4 \mu_{b_i}}{4} \quad (7)$$

$$\text{Genel varyans: } \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^4 \sigma^2_{b_i}}{4} \quad (8)$$

Genel standart sapma: $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ (9)

Türkiye için söz konusu uluslararası kuruluşlardan veriler alınmış ve risk değerlendirmesi yapılmıştır (Tablo 1).

Neticede, Türkiye'ye ait madencilik alanında bir politik risk değerlendirmesi tablosu oluşturulmuştur. Ancak, politik risk analizi, risk faktörünün belirlenmesi ile gerçekleşmektedir. Risk faktörü, aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{Risk faktörü: } rf = \frac{\sigma}{\mu} \quad (10)$$

Böylece, Türkiye için risk faktörü, $rf = 0.1276$ =%12.76 şeklinde bulunur. Bu, oldukça yüksek bir değerdir ve Türkiye'de madencilik sektörüne yönelik politik yapıdaki belirsizliğin yüksek olduğunu gösterir.

Ayrıca, Türkiye için bulunan madencilik sektörü için risk değerlendirmesi ortalama ve standart sapma değerleri sonucunda oluşturulan normal dağılım grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir.

Dünya maden rezervlerinde önemli payları olduğu gibi dünya maden üretiminde rol oynayan ülkelerin başında ABD, Çin, Güney Afrika, Kanada, Avustralya ve Rusya gelmektedir. [21]

Bu çalışmada, sadece Türkiye ile ilgili değil, dünyanın farklı bölgelerinde madencilik konusunda öne çıkan bazı ülkelere elde edilen endeks verileri de değerlendirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika, Avustralya, Kanada, Şili, Çin Halk Cumhuriyeti, Rusya ve İsveç gibi dünya maden üretiminde rol oynayan önemli ülkeler ile dünyanın mümkün olduğunca farklı kıtalarından madencilikle ilgili ülkelerin sonuçları değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Yukarıda belirtilen ülkelerin endeks verilerinin değerlendirilerek oluşturulan ve ortalama, standart sapma ve risk faktörlerini içeren sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de, madencilikte önde gelen bazı ülkeler ile dünyanın farklı bölgelerindeki madencilikte öne çıkmış bazı ülkelerin, bu çalışmada kullanılan endekslerdeki politik yapı değerlerinin ortalamaları görülmektedir.

Avustralya, Kanada, İsveç gibi ülkelerin madencilik sektörüne yönelik politik yapılarının uluslararası şirketler açısından oldukça olumlu, Çin Halk Cumhuriyeti, Rusya, Türkiye gibi ülkelerin ise nispeten olumsuz bir sonuç verdiği görülmektedir.

Ancak bu çalışmanın amacı ülkeler veya bölgelerin politik yapılarını değerlendirmek değil, politik yapıdaki belirsizlikleri ölçme anlamında politik riskleri değerlendirmektir. Bu yüzden, söz konusu dokuz ülkenin risk analizlerini tabloştırdığımızda (Tablo 2), Türkiye, Rusya ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin risk faktörlerinin bariz bir şekilde diğer ülkelere göre yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3).

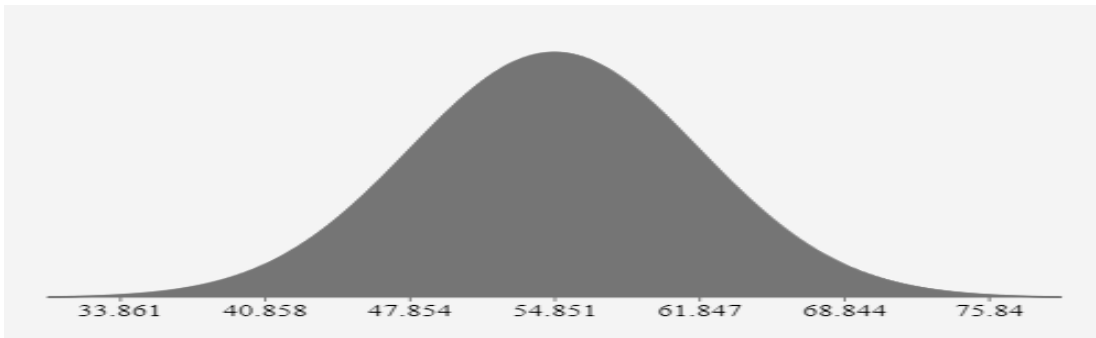
Bu durum, bu ülkelere politik yapıda istikrarsızlık yaşandığını ve politik yapıda belirsizliklerin çok olduğunu gözler önüne sermektedir.

Madencilik sektörü yatırımlarının uzun bir hazırlık dönemi içermesi ve paranın geri dönüş süresinin uzunluğu göz önüne alındığında, madencilik sektörü için politik riskin önemi daha iyi kavranabilecektir. Özellikle bu sektörde bulunan uluslararası şirketler açısından politik risk analizi çok önem arz etmektedir.

Bu sonuçlar, ülkelere dair yatırım kararlarının verilmesinden çok, ülkeye gelecek olan yatırımcıların karşılaşılabilecekleri risklere dair bir fikir vermekte kullanılabilir. Her ne kadar, sermaye riski sevmez, belirsizlikten hoşlanmaz ise de, risk değerlendirmesinin yatırım kararına etkisi, tamamen yatırımcının vereceği bir karardır. Bazı yatırımcılar riskin sağlayabileceği büyük kar ihtimalini dikkate alıp o sahaya girerken, bazı yatırımcılar ise büyük zarar ihtimalini dikkate alıp o sahadan uzak durmayı tercih edebilir.

Tablo 1. Türkiye için çeşitli uluslararası kuruluşlardan alınan veriler ve risk değerlendirmesi.

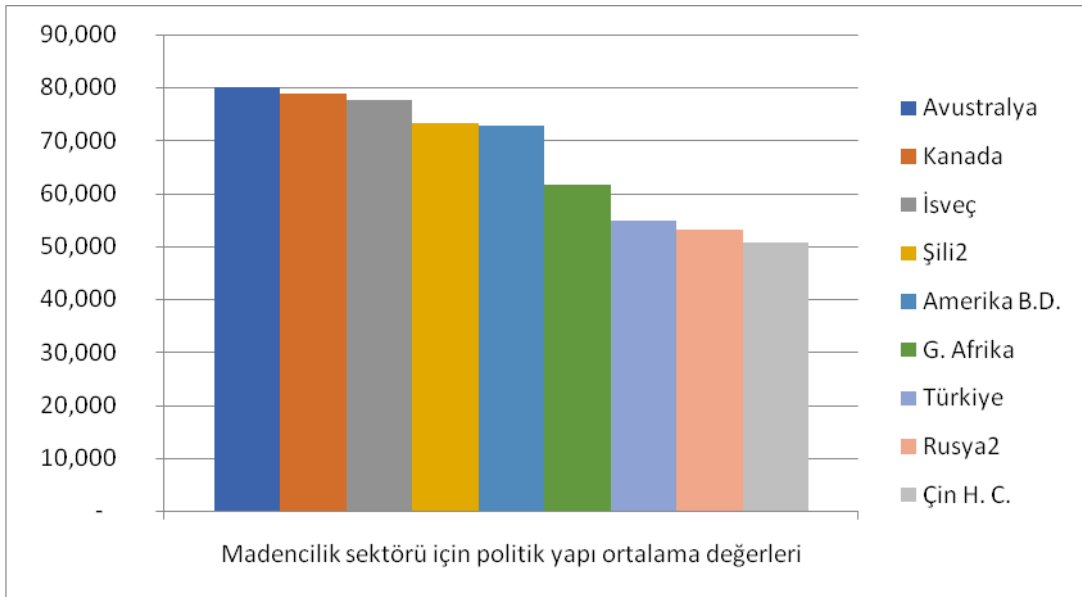
Bölümler	Endeksler	2014	2015	2016	2017	2018	Ortalama	Varyans	Standart sapma
Sosyal hayat	Dünya Özgürlük Anketi	60	55	53	38	32	47.60	143.30	11.97
	Küresel Barış	62.1	62.6	57.2	54.9	52.3	57.81	20.03	4.48
	Küresel Terörizm	43.6	45.5	32.8	25	29.6	35.30	79.44	8.91
	Eğitim Kalitesi	54.9	61.5	59.6	61.6	62.9	60.12	9.95	3.15
							50.21	63.18	7.95
Bürokrasi	Açık Bütçe		44		58		51.00	98.00	9.90
	Hukukun Üstünlüğü	50	46	43	42	42	44.60	11.80	3.44
	Yolsuzluk Algı	45	42	41	40	41	41.80	3.70	1.92
	Küreselleşme			71.3	70.9	70.5	70.90	0.17	0.41
	Politik İstikrar	28.2	20.2	9.8	14		18.05	64.04	8.00
							45.27	35.54	5.96
İş hayatı	Ekonomik Özgürlük	64.9	63.2	62.1	65.2	65.4	64.16	2.08	1.44
	Küresel Rekabet	57.5	57.7	56.2	56.5	56.9	56.99	0.41	0.64
	İş Yapma Kolaylığı		68.7	69.2	67.2	69.1	68.54	0.86	0.93
							63.23	1.12	1.06
Madencilik	Madencilik Anketi	56.7	64.0	60.7	52.6	56.7	58.15	18.99	4.36
	Madencilik Katkı	73.5		48.5		67.5	63.15	169.82	13.03
							60.65	94.40	9.72
Toplam						54.85		6.97	



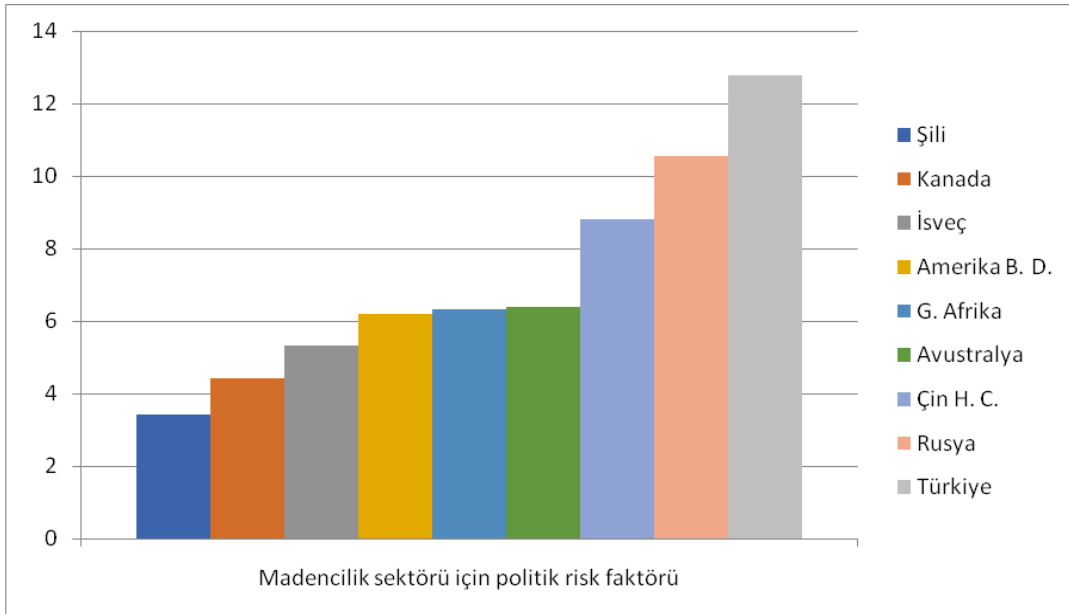
Şekil1. Türkiye için oluşturulan normal dağılım grafiği.

Tablo 2. Madencilikte öne çıkan bazı ülkelerin risk analizi.

Ülkeler	Ortalama	Standart sapma	Risk faktörü
Amerika B. D.	72.67	4.51	6.20
G. Afrika	61.68	3.89	6.31
Avustralya	80.13	5.13	6.40
Kanada	78.82	3.48	4.41
Şili	73.14	2.50	3.42
Çin H. C.	50.63	4.46	8.81
Rusya	53.14	5.60	10.54
İsveç	77.72	4.14	5.32
Türkiye	54.85	7.00	12.76



Şekil 2. Madencilik sektörü için politik yapı ortalama değerleri.



Şekil 3. Madencilik sektörü için politik risk faktörü.

Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda, madencilik sektörü gibi uzun ömürlü ve büyük yatırım gerektiren girişimciler için farklı ülkelere ait bir politik risk veri kümesi oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, politik risk değerlendirmesi için sosyal hayat, bürokrasi, iş hayatı ve madencilik şeklinde isimlendirilen dört kategoriden oluşan endekslerden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar, ülkelere dair yatırım kararlarının verilmesinden çok, ülkeye gelecek olan yatırımcıların karşılaşılabilecekleri risklere dair bir fikir vermekte kullanılabilir. Risk değerlendirmesinin neticesinde alınacak olan yatırım yapma yahut yapmama kararı, yatırımcının vereceği bir karardır. Sermaye genellikle riski, belirsizliği sevmez. Ancak bazı yatırımcılar, riskin sağlayabileceği büyük kar ihtimalini dikkate alarak, yüksek risk durumunda da yatırım kararı verebilir.

Bu çalışma sonucunda, uluslararası madencilik yatırımcılarının yatırım kararı vermeden önce kullanabilecekleri bir risk veri kümesi sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Gavelan, Z., & Dessureault, S. D. (2006). Probabilistic approach to project-specific political risk analysis for mineral projects. *Mining Engineering*, 58(1), 43-49.
- [2] Morgan, O. (April 2012). The Political Risks of Mining, *Risk Management Monitor* <http://www.rmmagazine.com/2012/04/01/the-political-risks-of-mining/> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [3] Hernandez, J. C. (sept 2018). the political risk analysis, *Grupo de Estudios en Seguridad Internacional, Universidad de Granada* <https://www.seguridadinternacional.es/?q=en/content/political-risk-analysis> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [4] Thomas J., (2014). Political risk in the mining sector: Understanding and mitigating the perils *Zurich Credit & Political Risk, Zurich American Insurance Corporation* https://www.zurichna.com/_/media/dbe/zna/docs/kh/trade/political-risk-mining-sector.pdf (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [5] Chiesa M., (August 2018). political risk and how to reduce it, *CIM Magazine*, Vol13, No5, p. 37 <https://magazine.cim.org/en/voices/political-risk-and-how-to-reduce-it-en/> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [6] H. Simonsen and J. Perry, J. (October 1999). *the Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, p. 321-332.
- [7] Jeffrey D. S., (1984). A Theoretical Perspective on Political Risk, *Journal of International Business Studies*, Vol. 15, No. 3, pp. 123-143.
- [8] Index of Economic Freedom, (2019). <https://www.heritage.org/index/ranking> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [9] Uludağ, A., (2015). Uluslararası kuruluşlarca kullanılan global endeksler, T.C. Maliye Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı.
- [10] Global Terrorism Index, (2019). *Institute for Economics and Peace*.
- [11] Global Peace Index, (2019). *Institute for Economics and Peace*.
- [12] Bingöl O., (2017). Küresel barış endeksi ve Türkiye. https://www.academia.edu/33969048/K%C3%BCresel_Bar%C4%B1%C5%9F_Endeksi_2017_ve_T%C3%BCrkiye (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [13] ADASO, *Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Endeksi, 2016-2017 baskısı* <http://www.adaso.org.tr/WebDosyalar/K%C3%9CRESSEL%20REKABET%C3%87%C4%B0L%C4%B0K%20ENDEKS%C4%B0%20T%C3%9CRK%C4%B0YE.pdf> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [14] Beşel, F., (2016). Uluslararası endeksler ışığında Türkiye, *Politik ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Merkezi*,
- [15] Durmaz, A., (2018). Hukukun üstünlüğü endeksinde gerilemeye devam, *Doğruluk Payı*. <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/hukukun-ustunlugu-endeksi-nde-gerilemeye-devam> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [16] Political stability – country rankings, the Global economy. https://www.theglobaleconomy.com/rankings/wb_political_stability (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [17] Index of Economic Freedom, (2019). <https://www.heritage.org/index/ranking> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [18] Global Competitiveness Report, (2019). *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a>

decade-of-lost-productivity-growth (Erişim zamanı; Aralık, 2019).

- [19] Survey of Mining, (2018). <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/annual-survey-of-mining-companies-2018.pdf> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [20] Mining Contribution Index, (2019). <https://www.icmm.com/en-gb/society-and-the-economy/role-of-mining-in-national-economies/mining-contribution-index> (Erişim zamanı; Aralık, 2019).
- [21] TBMM, (2010). Madencilik sektöründeki sorunların araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan meclis araştırması komisyonu, *TBMM Araştırma Komisyonu Raporu*.

Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması

A Review on the Context of Comparison of Passenger and Freight Transport and Highspeed Railways

Mehmet Fatih Altan^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıltaş²

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mehmetaltan@aydin.edu.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, mckiziltas@ticaret.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Mart 2018
Düzeltilme: 12 Temmuz 2018
Kabul: 24 Temmuz 2018

Anahtar kelimeler:

Yüksek hızlı demiryolları,
Yolcu taşımacılığı, Yük
taşımacılığı, Altyapı, Türel
dağılım, İşletme hızı

ÖZET

Yüksek hızlı demiryollarının bir tanımı yapılacak olursa bu sistemlerin altyapılarının 200 km/saat'in üzerinde hızlara imkân verdiği belirtilebilir. Ancak bugünlerde yüksek hızlı demiryollarının 300 km/saat'lerin üzerindeki hızları yakaladığı da bir vakadır. Bu değer test sürüşlerinde 500 km/saat'lik hızları dahi bulmaktadır. Günümüzde küresel ölçekte hızlı kara ulaştırma sistemleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birisi çelik tekerlek ve çelik ray olarak açıklanabilecek olan demiryollarıdır. Uluslararası demiryolları birliğine (UIC) göre yüksek hız, bir dizi işletim koşulu ve altyapı dâhilinde değerlendirilebilecek bir husustur. UIC bu kapsamda yüksek hızın alt limitini 250 km/saat olarak tayin etmiş olup bu değer yüksek hız standartlı altyapı ve işletim koşulları dâhilindedir. Bu çalışma kapsamında öncelikle yüksek hızlı demiryollarının altyapı, hız, araç vs. kıstaslara göre tanımı ortaya konmuştur. Ardından avantajları ve potansiyel etkileri incelenmiştir. Sosyal etkilerin kapsamı ele alınmıştır. Bu bağlamda da talep ve kapasite unsurları değerlendirilmiştir. AB ve ABD merkezli değerlendirmelerin ardından sonuçlar paylaşılmıştır. Giriş bölümünde yüksek hızlı demiryolları tanıtılmış, ardından çeşitli unsurlara göre yüksek hızlı demiryolları sınıflandırması ile ilgili konular ortaya konmuş, takibinde bu ulaştırma türünü etkili ve ayırt edici kılan unsurlar açıklanmıştır. Son olarak da bu bağlamda sonuçlar paylaşılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.404832

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 March 2018
Revised: 12 July 2018
Accepted: 24 July 2018

Keywords:

Infrastructure, passenger
transport, high speed railways

ABSTRACT

It can be mentioned that the transportation mode gives possibility to minimum 200 km/h speeds if a definition will be done for high speed railways. But it is a case that high speed railways have caught 300 km/h operation speeds nowadays. This value reaches 500 km/h speeds even on test drives.

Today speed inland transportation systems split in half on global scale. One of them is railways that can be expressed as steel tired and steel railed systems. High speed according to International Union of Railways (UIC) is an issue that can be evaluated within a set of operational conditions and limits and infrastructure. On this context International Union of Railways (UIC) has specified the lower limit of high speed as 250 km/h that is on the parallel of high speed railway infrastructural and operational conditions. Within this framework, firstly the definition of high speed railways in terms of speed, infrastructure, vehicular etc. conditions is revealed. Then the advantages and potential impacts of high speed railways are reviewed. And the context of the social effects of high speed railways (HSR) is evaluated. In this regard demand and capacity elements are discussed. Results are shared after the considerations which are United States Of America (USA) and European Union (EU) focused.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Fatih ALTAN
✉ mehmetaltan@ticaret.edu.tr

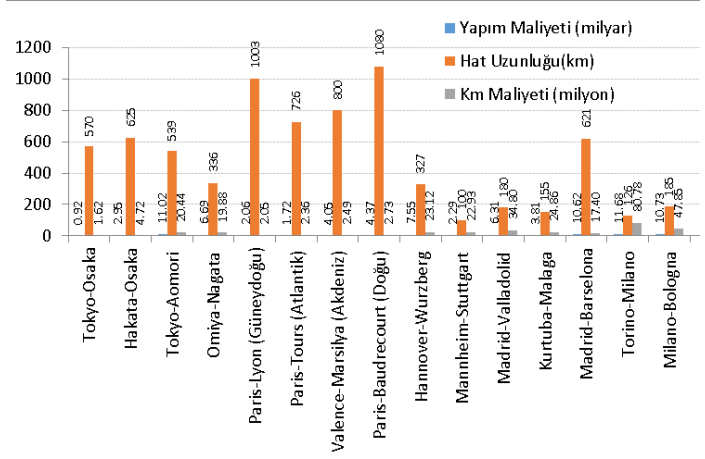
Giriş

Yüksek hızlı demiryolları, demiryolu ulaştırma türünün gelişmiş bir çeşididir. Hızı, az yer kaplaması, taşıma kapasitesi, çevre dostu olması, petrol kullanımını gerektirmemesi gibi avantajlı özellikleri bulunmaktadır. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) tanımı ile ilgili çeşitli görüşler ortaya konmaktadır. İlk olarak Japonya Shinkansen Kurumu tarafından 1970 yılında YHD için 200 km/saat hızı yeterli görülmüş iken zaman içerisinde altyapı, hacim ve kapasiteye bağlı olarak Avrupa ve Japonya’da 250 km/saat ve üzeri hızlara ulaşılmıştır. Günümüzde trenler ilk örneklerinin 10 katının üzerinde hızlara ulaşmış durumdadır. Fakat bu hızlar belli koşullar dâhilinde yakalanmaktadır.

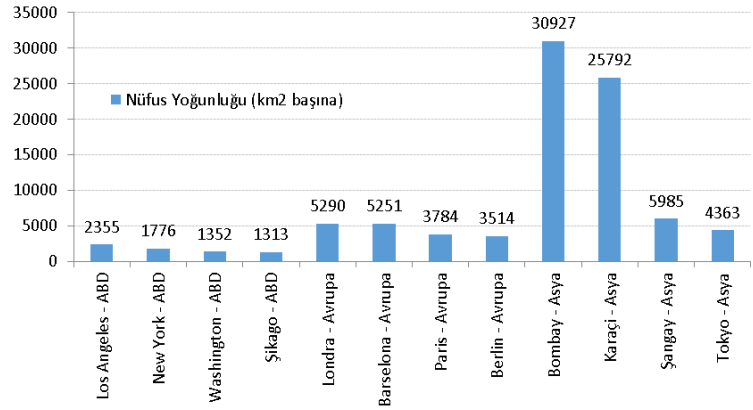
Bir yüksek hızlı demiryolu hattı elde etmede yüksek hız altyapısına dayalı sistematik bir oluşum söz konusu olmaktadır [1]. Ortaya çıkarılacak hatlar dizisinin sistemin başarısı ve bütünlüğü ile doğrudan ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Yüksek hızları yakalamada yüksek hızlı trenlerin işletilebileceği özel koşullara sahip altyapılar birer gereksinimdir. Bütün bunlardan dolayı yüksek hızlı demiryollarının tek bir tanımı ya da standardına henüz ulaşamamıştır. Söz konusu karmaşık yapıdan ötürü yüksek hızlı demiryollarının tek bir standardı söz konusu değildir. Ancak çeşitli şartlar altında ortak değerlendirme imkânları sunan birkaç tanımdan söz etmek mümkündür. Bir hattın YHD sınıfında telakki edilmesi ile ilgili altyapı, hız, hizmet parametreleri gibi değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. YHD hatlarında nüfus yoğun bölgelerde gürültü kaynaklı sıkıntılar nedeni ile hızın 110 km/saat ve uzun köprü ve tünellerin olduğu yerlerde de güvenlik ve taşıma kapasitesi sebepleri ile hızın 160-180 km/saat ile sınırlandırıldığı bilinmektedir [2]. Yani buradan hareketle, söz konusu ulaştırma türünün en önemli ve en ayırt edici özelliklerinden birisi olarak hız unsurunun da ilgili işletim koşulları ya da gereksinimlere göre çeşitlenebildiği açıkça anlaşılmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Yüksek hızlı trenlerin tanımına altyapı yönü ile bakıldığında birçok kavramın ihtiva edildiği görülmektedir. Bu bağlamda altyapı inşası büyük ölçüde ya da tamamen 250 km/saat ve üzeri hızlar nazarı ile gerçekleştirildi ise bu noktada yüksek hızlı demiryolu hattı tanımlaması yapılır. Altyapı açısından yüksek hızlı demiryolunun tanımı birçok kavramı kapsamaktadır.



Şekil 1. Gidiş-Geliş Bilet Fiyatı, Hat Uzunluğu ve Seyahat Süresi Karşılaştırması (YHD-Havayolu) [3]



Şekil 2. Dünya Şehirlerinde Nüfus Yoğunluğu [4]

Büyük yükselti ve dar boğaz geçişleri ve farklı gabarili ray kullanımları ile çeşitli kendine has sebeplere bağlı olarak belirli hız sınırlamaları olsa da 200 km/saat’lik hızlarda işleme el veren konvansiyonel hatlar da YHD sınıfında kabul

edilebilmektedir (AB Ulaştırma Politikaları-1). Şekil 1’de çeşitli ulaşım koridorlarında yüksek hızlı demiryolları ve havayolu ulaşım türü karşılaştırması verilmiştir [4].

Çeken ve Çekilen Araçlar Açısından Yüksek Hızlı Demiryolları

Sabit düzenli motor ve vagon gruplarından meydana gelen ve ticari işletimlerde 250 km/saat ve üzeri hızları yakalayabilen dizilere yüksek hızlı tren (YHT) denmektedir. Bundan da öte çeşitli kısıtlar altında 200 km/saat değerlerine tekabül eden yatar gövdeli trenlerle benzeşen fakat daha yüksek düzeylerde hizmet kalitesine sahip olan yüksek hızlı trenler (YHT) oldukları da söylenebilir.

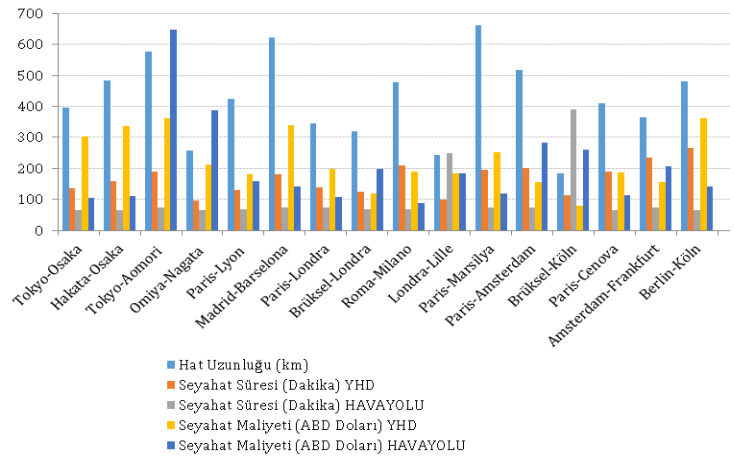
İşletim Sistemleri Açısından Yüksek Hızlı Demiryolları

Demiryolu işletmeciliğine göre değişen bu tanım için ayrı durum söz konusudur.

- Bu noktadaki ilk sistem türü, konvansiyonel trenlerin konvansiyonel hatlarda, yüksek hızlı trenlerin de yüksek hızlı hatlarda işletilmesi durumudur. Buna örnek Japonya’dan JR Central ve JR East olarak verilebilir.
- İkinci türde, konvansiyonel hatlarda ilgili kısıt ve şartlarda hem yüksek hızlı ve hem de konvansiyonel trenlerin çalışması söz konusudur. Ancak yüksek hızlı hatlarda sadece yüksek hızlı trenler çalışmaktadır. Buna örnek olarak Fransız SNCF verilebilir.
- Üçüncü türde ise tam tersine, yüksek hızlı hatlarda ilgili kısıtlar dâhilinde hem yüksek hızlı ve hem de konvansiyonel trenler işletilir iken konvansiyonel hatlarda ise sadece konvansiyonel trenler çalışmaktadır. Bunun örneği ise İspanyol RENFE işletimidir.
- Dördüncü tür ise yüksek hızlı hatların da konvansiyonel

hatlarında aynı anda ve birlikte, hem konvansiyonel trenlerin ve hem de yüksek hızlı trenlerin işletimine açık olduğu durumdur. Buna örnek ise İtalya’da Trenitalia ve Almanya’da Deutsche Bank’tır [5].

Şekil 3’te dünyada önemli yüksek hızlı demiryolu hatlarının maliyetleri verilmektedir [6].



Şekil 3. Önde Gelen YHD Hatlarında Yapım Maliyetleri (ABD Doları) [6]

Yüksek Hızlı Demiryolunun Avantajları

Günümüze değin yüksek hızlı demiryollarının kazandığı yaygınlık ve ulaştığı memnuniyette etkili birçok faktör söz konusudur. Yüksek hızlı demiryolları hız ve kapasite parametrelerini üst düzeyde sunduğundan dolayı nüfus yoğun olan bölgelerde talep görmektedir. Bu özelliklerin en iyi temsillerinden birisi Japonya’dır. Tokyo’dan 10 tren/saat sıklıkla hareket eden yüksek hızlı trenler 2300 yolcu/trenXsaat kapasite ile hizmet vermektedir. 200 ila 600 km arası mesafelerde yüksek hızlı demiryolları, yaygınlık kazanmış olduğu Avrupa ve Asya kıtaları için, havayollarına nazaran daha rekabetçi görünmektedir. Yüksek hızlı demiryollarının çevresel kirlilik bazında önemli avantajlarından birisi kişi başına yolculuğa düşen

enerji tüketiminin düşüklüğüdür. Yüksek hızlı demiryolları için söz konusu değer havayolu ulaştırma türü için olanın 3'te 1'i iken özel otomobil ulaştırma türü için olanın yaklaşık yarısı kadardır. Yüksek hızlı demiryolu ulaştırma türünün önde olduğu bir başka hizmet parametresi ise güvenlidir. Yüksek hızlı demiryollarında kazalar ve kaza kayıpları minimal seviyelerdedir. Yüksek hızlı demiryolları çeşitli ilave altyapı işleri gerektirmektedir [6]. Söz konusu ulaştırma türünün avantajları dezavantajlarına nazaran oldukça fazladır. Tünel ve viyadük inşalarının yüksek eğimli arazilerde artış göstermesi işletme ve yatırım maliyetlerinde artışlara neden olmaktadır. Her halükarda demiryollarının toplam maliyetleri, karayolu maliyetlerinin altında olup bunun nedenlerinden birisi de az yer kaplamasıdır. Yüksek hızlı demiryollarında hız artışına paralel gürültü ve titreşimde kaydedilen artış ise bir başka dezavantaj olarak göze çarpmaktadır. Bu noktadaki handikabın azaltılması ya da ortadan kaldırılması ile ilgili güncel çalışmalar yürütülmeye devam etmektedir.

Kent periferilerinin uzak mesafelere yayılmasının nedenlerinden birisi de yüksek hızlı demiryolu ulaştırma türünün kaydettiği hız değerleridir. Yüksek hızlı demiryollarının hıza dayalı olarak seyahat süresinde kaydettiği önemli düşüşler sayesinde 400 km'nin üzerindeki mesafeye sahip kentler arasında günlük ev-iş yolculukları imkânı doğmuş olup bu durum da söz konusu kentlerin ekonomik hareketliliklerine yansımaya başlamıştır. Havayollarının yönetim ve ilerletilmesi yüksek hızlı demiryollarına nazaran daha maliyetli olmaktadır. Havaalanlarında da uçakların işletim, bakım ve park gibi aşamalarından kaynaklı maliyetleri de buna ilave olarak düşünülmelidir. Aynı zamanda uçakların yakıt tüketimi de trenlere kıyasla çok yüksektir. Buradan hareketle işletme maliyetleri yönünden bakıldığında da yüksek hızlı demiryollarındaki maliyetler havayollarındakinin 3'te 1'ini teşkil etmekte olup bu noktada söz konusu ulaştırma türü için

bir tercih sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek hızlı demiryollarının rekabetçiliği, diğer ulaştırma türlerinde hizmet parametrelerini yükseltmenin bir itici gücü olma fonksiyonunu da üstlenmektedir. Söz konusu ulaştırma türü konfor, güvenlik, hız, seyahat süresi, toplam seyahat süresi ve frekans gibi hizmet parametrelerini üst düzeyde sunmaktadır. Yüksek hızlı trenlerin sağladığı yolculuk kapasitesi 400.000'lere kadar çıkabilmektedir. Bu rakamlar genel trafik tıkanıklığının iyileştirilmesinde de olumlu bir etkiye sahip olmaktadır. Birim enerji tüketimi bazlı bakıldığında ise yüksek hızlı demiryolları uçakların 9'da 1'i kadar bir değere sahip olmaktadır. YHD işletimlerinde kaza kayıpları düşük olup 200 km/saat'in üzerinde kaza gerçekleşmemiş durumdadır [7]. Mevcut durumda küresel ölçekte, yüksek hızlı demiryolu işletimlerine bakıldığında söz konusu işletim hızları halen 350 km/saat'lerin altında kalmaktadır. Ancak test hızlarında Fransa, Japonya ve Almanya'da 350 km/saat'lerin üzerine çıkılmaktadır. Bu noktadaki dünya rekoru 2008 yılı itibari ile kaydedilen hızla Fransız TGV'de olup söz konusu trenler Paris-Strazburg arası test sürüşlerinde 575 km/saat değerleri kaydetmiştir. Maglev trenleri ile ise bunun ötesindeki hızlara 2003 yılı itibari ile Japonya'da, sonrasında da Çin'de ulaşılmıştır. Aşağıda yüksek hızlı demiryolları ile ilgili çeşitli kritik noktalar belirtilmektedir:

- Hemzemin geçitler demiryollarında en çok kaza olan bölgelerden birisini teşkil etmektedir. Buradaki kazalara genellikle işaret levhalarına riayet etmeyen karayolu araçları neden olmaktadır. Hemzemin geçitler 140 km/saat'in üzerindeki işletim hızlarının kaydedildiği yerlerde bulunmamaktadır.
- Söz konusu ulaştırma türünde insan ve hayvan geçişlerinin engellenmesi için ihata duvarı uygulamaları yer almaktadır.

- Söz konusu ulaştırma türü altyapı yapımı standartları anlamında konvansiyonel hatların oldukça ilerisindedir. Demiryolu platformu ve ilgili unsurları ileri teknik imkânlar dâhilinde uluslararası standartlara uygun şekil ve malzemeler ile yapılmaktadır.
- Ters yönlerden gelen iki yüksek hızlı tren arasındaki hız farkı yerine göre 600 km/saat'leri bulmaktadır. Dolayısı ile hatlar arasındaki mesafe önemli bir noktadır. Yüksek hızlarda karşılıklı geçişlerde trenler yüksek bir hava basıncı meydana getirmektedir. Bu da ani basınç değişimlerine birbirlerini maruz bıraktıkları anlamına gelmektedir. Dolayısı ile yüksek hızlı tren hatları arasındaki mesafeler konvansiyonel hatla nazaran daha büyüktür.
- Yüksek hızların elde edilebilmesinin bir gereği olarak yüksek hızlı demiryollarındaki kurlar da daha büyük olmaktadır.
- Yüksek hızlı trenlerin birbirleri üzerine basınç etkisinden hareketle yüksek hızlı demiryolu tünelleri de farklı tasarım ilkelerine göre yapılandırılır.

Zaman tasarrufları yüksek hızlı trenlerde en kolay genelleştirme unsurlarından birisidir. Ancak bu unsurun hassasiyet derecesini ortadaki amaç belirlemektedir: kapasite artırımını, seyahat süresinin kentler arası bazda azatılmı ya da karşılaştırma yapılan taşımacılık türleri. Bu noktada Tokyo-Osaka seyahatleri örnek verilebilir. Bu hattaki seyahat süresi Tokaido Shinkansen öncesi 7 saat iken ardından bu süre 4 saate inmiş olup son tahlilde ise yaklaşık 2,5 saattir. Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak demiryolu ile havayolu türel payları verilmiştir [8].

Tablo 1. Ulaştırma Koridorlarında Demiryolu ve Havayolu Türel Dağılımı ve Seyahat Süreleri [8]

Koridor	Yıl	Seyahat Süresi (dk)	Türel Pay (%)
---------	-----	---------------------	---------------

Paris-Brüksel	2006	85	100
Paris-Lyon	1985	135	91
Madrid-Sevilya	2003	140	83
Brüksel-Londra	2005	140	60
Tokyo-Osaka	2005	150	81
Madrid-Barselona	2009	158	47
Paris-Londra	2005	160	66
Tokyo-Okayama	2005	196	57
Paris-Cenova	2003	210	35
Tokyo-Hiroşima	2005	231	47
Paris-Amsterdam	2004	250	45
Paris-Marsilya	2000	260	45
Londra-Edinburg	1999	265	29
Londra-Edinburg	2004	270	18
Tokyo-Fukuoka	2005	299	9

Yüksek hızlı tren hizmeti öncesi Madrid ve Sevilya arası seyahat süresi 6,5 saat iken AVE hizmetleri sonrası bu sürede 4 saatlik bir azalma kaydedilmiştir. Londra-Paris arası seyahat süresi Manş Tüneli ile birlikte %50 azalmış olup bu yapının inşası sonrası Londra-Brüksel arası zaman tasarrufu bunun da fevkindedir. İngiltere'de batı kıyısındaki hatta ve Almanya'da Frankfurt-Köln hattında yüksek hızlı tren hizmeti sonrası kaydedilen seyahat süresi iyileşmeleri ise %30'lardan %60'lara, farklı koşullar altında değişen seyahat süresi iyileşmelerine işaret etmektedir. Japonya'da 1990'lı yıllarda yıllık ortalama zaman kazançları 3.700.000.000 saat/yıl olup bu tasarruflar ilerleyen yıllarda daha da artmaya devam etmiştir.

Tablo 2. Önemli Demiryolu Hız Rekorları [9]

Ülke	Hız (km/saat)
1964 - JAPONYA - Tokaido Shinkansen	210
1981 - FRANSA - TGV, Paris-Lyon	260
1988 - FRANSA - Word Speed Record (WSR), electric	408

1990 - FRANSA - WSR, electric	515	A.B.D. ve Avrupa Birliği'nde 1950'lerde yük taşımalarının oranları hemen hemen aynı iken
2003 - JAPONYA - WSR, maglev	581	2000'ler itibari ile bu oran AB'de %8'inmiş olup
2007 - FRANSA - WSR, electric	574,8	A.B.D.'de ise 38'lere yükselmiştir. Bu

Söz konusu yeni bir yüksek hızlı demiryolu yatırımı ise daha kapsamlı, karmaşık ve gerekli olan değerlendirme ise otomobil ve uçak ile yapılacak olan karşılaştırmalardır. Yapılan bu tarz araştırmalarda farklı ülkelerin de dâhil olması ile 130 km/saat'lerdeki konvansiyonel hızlardan yüksek hızlı tren değerlerine kat edilmesi muhtemel artışlar ile ortalama 45-50 dakikaya varan seyahat süresi kısaltmaları ortaya çıkmaktadır. Karayolu ulaştırma türü ile bir karşılaştırma söz konusu olduğunda, zaman tasarruflarında varış noktası mesafesi bazlı yaklaşımlar söz konusu olmaktadır. Bu durumda tıkanıklık değerlerinde normalin altında iyileşmeler yakalanmış olup söz konusu durum daha çok 80 km'nin altındaki mesafeler için gerçekleşmiştir [9]. Tablo 2'de dünyada önemli demiryolu hız rekorları verilmektedir [10].

Talep ve Kapasite

2000 yılı verilerine göre A.B.D.'de demiryolunun türel dağılımdaki payı %38 olup 2.468.206 milyon tonxkm'lik taşıma kapasitesine haizdir, buna karşın aynı dönemde 3.068.000 milyon tonxkm ise AB'deki toplam taşımayı ifade etmektedir. Söz konusu taşıma kapasitesi A.B.D.'nin toplam karasal taşımalarının %58,82'si olup bu oran AB'de %15,11 olarak gerçekleşmiştir. Hâlihazırda AB zaten A.B.D.'nin toplam taşımacılığının yaklaşık yarısını gerçekleştirebilir iken bunda da baskın olan denizyolu olup %41,10'luk bir orana haizdir. AB'de diğer taşımacılık türlerinin toplamı ise ancak %48,24'tür. Bu noktada demiryollarının avantajları tekrar zikredilecek olur ise temiz ve güvenli bir tür olması başta belirtilebilir. Takibinde ise altyapısının elverişliliği, gelişme açıklığı ve trenlerin taşıma kapasitelerinin büyüklüğü anılabilir [10].

değişimlerin büyük bir bölümü sırası ile ürün çeşitlenmesi, coğrafi değişimler, taşıma kilometreleri, yapısal ve doğal değişiklikler iken önemli bir bölümü de sınır alanlarında çoklu işletim noktasındaki yetersizlikler, yolcu ulaştırması, hizmet parametreleri ve kalitesi ile demiryolu operasyonları ile ilgili destekleri de içeren kamu politikasındaki farklılaşmalar ile de ilgilidir. Demiryolları açısından bakıldığında da yük taşımacılığı anlamında mesafeler, A.B.D.'de AB'dekine nazaran daha istenen konumda olup bunun bir nedeni de AB'nin 3 katı yüz ölçüme sahip olmasıdır. Ayrıca AB'nin kıyı şeridi uzunluğu da A.B.D.'nin kinin 9 katıdır, bu durum da A.B.D.'de yük taşımacılığında demiryollarının daha öne çıkarmaktadır. Bundan da öte A.B.D.'de demiryolu yük taşımacılığının bir başka destekçisi de kamu politikalarının seyridir. Hem AB ve hem de A.B.D.'de gelişmiş düzeyde otoyol ağları mevcut olması ile birlikte AB uzunca süredir demiryollarına mali destek sunmaktadır. Bunun devamında da AB demiryollarını sadece devlet elinde milli bir yapıda tahkim etmiş iken A.B.D. demiryollarının özelleştirilmesinde son derece başarılı bir örnekli ortaya koymuştur.

Denizyolu ve havayolu gibi karasal dışı ulaştırma türlerindeki rekabetçilik seviyeleri, ürün farklılaşmaları, yük taşıma mesafeleri ve ulaştırma kapasiteleri gibi parametreler A.B.D. ve AB arasındaki demiryolu ulaştırma türel paylarının farkının öncelikli nedenleridir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ortalama ulaştırma mesafeleri Avrupa Birliği'ndeki ortalama ulaştırma mesafelerinden gözle görülür ölçüde yüksektir. Ortalama ulaştırma mesafeleri Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) için 386 km iken Avrupa Birliği (AB) için ise 132 km olup bu değerler karasal ulaştırma bazlı değerlerdir. Ortalama nakliyecilik maliyetleri daha makul olduğundan dolayı demiryolu ulaştırma türü uzun mesafeli taşımacılıkta

tırlardan daha rekabetçi konumdadır. Demiryollarının karasal yük ulaştırmasındaki payı 2000 yılında 0-50 km arasında A.B.D.'de %3 ve AB'de %2 iken 500-1000 km arası mesafeler için ise bu değerler A.B.D.'de %38 ve AB'de %21 olarak ortaya çıkmaktadır. Buradan A.B.D.'de ulaştırma mesafesi artışına paralel, demiryolu ulaştırmasının türel payının ciddi artış gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği arasında 413 milyar tonXkm'lik fark taşıma hacmi olarak sadece demiryolu taşıma mesafesinde meydana gelmektedir. Dolayısı ile ortaya çıkan söz konusu fark, A.B.D. ve AB arasındaki kıyı şeridi uzunluğu farkından daha da ötesindeki bir duruma işaret etmektedir (Crafts, 2009).

Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği için fabrika ürünleri ve kömürün dışındaki ürünler benzerlik göstermekte olup ulaştırması yapılan ürününü çeşitliliği de önemli bir konu olmaktadır. Karasal yük taşımacılığında (demiryolu ve karayolu) kömürünü taşımada tonXkm cinsinden payı A.B.D. için %23 iken AB için ise %1'lerdedir. A.B.D. ve AB'de fabrikasyon ürünler için ise söz konusu paylar sırası ile %10,5 ve %34 olarak gerçekleşmektedir. Amerika Birleşik Devletleri demiryollarının Avrupa Birliği demiryollarına nazaran bir avantajı da demiryollarının daha düşük kütleli ürünlerin taşınımında daha rekabetçi olmasıdır.

Demiryolları yük ulaştırması açısından A.B.D. ve AB arasında ürün çeşitliliği esasına göre 397 milyar tonXkm'lik fark ortaya çıkmıştır. Ürün çeşitliliği; denizyolları, iç suyuolları ve boru hatları için, karasal ulaştırma türleri olan karayolu ve demiryolu yük taşımacılığı yönünden gösterdiği etkiyi göstermemektedir. Denizyolu-İçsuyolu-Boru hatları lehine bir 124 milyar tonXkm'lik değişim AB'nin ürün taşıma dağılımının A.B.D.'ye uygulanması durumunda ortaya çıkması beklenebilir. AB'de söz konusu taşıma performansında, ürün çeşitliliği paralelinde bütün ulaştırma türleri arasında en

büyük etkiyi kömür taşımacılığı göstermektedir. Bunların da ötesinde ulaştırma hacmi değişiminin yeniden bir şekillenmeye tabi olmasında, AB'nin demiryolu ulaştırma türü ve rekabetçi-tamamlayıcı türleri ile ilgili strateji ve politik kararları ana unsur olarak görünmektedir. Daha kapsamlı ve yüksek düzeyli bir bakış açısı ile bu politik proseslerin tamamı ele alınabilir. AB'nin yük taşıması başta olmak üzere demiryolu ulaştırması ile ilgili politik insiyatifleri A.B.D.'ninkinden daha etkin sonuç vermeye adaydır. Hâlihazırda 2000 yılından bu yana çoğu AB ülkesi demiryolu ulaştırma türünde birçok teşviki devreye sokmaktadır [11].

A.B.D.'de AB'ye göre otoyol geçi ücreti uygulamaları daha az yaygınlık kazanmıştır ve yakıt fiyatları ise düşüktür. AB'de yakıt fiyatları A.B.D.'dekinin kabaca iki katı mertebelerinde seyretmekte iken geneli itibari ile bu aralıklar zaman ve coğrafyaya göre çeşitlenmektedir. Ülkeler bazında AB'de otoyol geçiş ücretlendirme uygulamaları otoyol ağının %12'si ile %30'u arasında değişmekte iken A.B.D. için ise bu değer sadece %1,3'ler mertebesinde. Bunun yanı sıra A.B.D.'de demiryolu ulaştırma türünde doğrudan sübvansiyonlar daha yaygın etkindir, AB'de ise bu süreç birçok prosedüre tabi ve daha dolaylı gerçekleşmektedir. A.B.D.'de hükümet dolaylı yollardan gelir vergilerinden (2001 yılı itibar ile 538 milyon ABD Doları) önemli bir payı demiryolu sübvansesine ayırmaktadır. AB'de demiryolu yolcu taşımacılığı genel anlamda sübvansiyonların çoğunu almakta olup bu miktarın yaklaşık yarısı da (2001 yılında 38,306 milyon Euro'nun 18,364 milyon Euro'luk bölümü) yük ve yolcu ortak kullanımının altyapısına tahsis edilmektedir. AB'de kentlerarası demiryolu yolcu taşımacılığı payları %6,25'lerde seyrederek iken bu değer A.B.D. için ise %0,32'lerde seyretmektedir. AB'nin politikalarının demiryollarında yolcu taşımacılığını yük taşımacılığına nazaran fazla önemeleesi önemli bir dezavantaj olarak okunmaktadır [11].

AB’de kısıtlı olan demiryolu güzergâhlarının yolcu taşımacılığı yönünde özelleştirilmesi ve iyileştirilmesi anlamında ciddi çalışmalar mevcut iken benzer durum yük taşımacılığı alanında ise bu anlamda zikredilememektedir. Çok disiplinli ve birlikte işletim alternatiflerinin teknik imkânları ve sürücülerin uluslar arası demiryolları için birlikte eğitimi ve benzeri insiyatifler ile AB sathında demiryolu ulaştırma türü yük taşımalarının ilerletilmesi söz konusu olabilecektir. Bu noktada finansman kaynakları ve koordinasyonun önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu anlamda yolcu ulaştırması ve yük ulaştırması arasında bir dengenin temini de önemlidir, Avrupa Birliği’nde ise bu bağlamda birçok bağlantı noktasında bir dizi sınırlandırmalar söz konusu olmaktadır. Demiryolu ulaştırma türünün türel payının artışında çeşitli doğrudan unsurları; altyapı kalitesinin ilerletilmesi, sinyalizasyon sistemlerinin yeterli temini ve hat kapasitesinin artırılması olarak zikredilebilir. Bunun da ötesinde ise sistemdeki rekabetin yükseltilmesinin temini ve demiryolu yük ulaştırmasının desteklenmesi anılabilecek hususlardandır.

Türkiye’de Yüksek Hızlı Demiryolları

Türkiye’de yüksek hızlı demiryollarına giriş geç sayılabilecek bir tarihte başlamıştır. Ancak Fransa, Japonya ve Almanya’daki durumun aksine geç tarihlerde bu ulaştırma türüne yatırıma başlayan İspanya ve Çin gibi iki ülkenin hâlihazırda küresel ölçekte lider ülkeler arasında olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Zira günümüzde Çin, Fransa, İspanya ve Japonya, YHD sektörünün liderleri konumundadır. Ülkemizdeki hızlı kurulum süreci dikkate alındığında ise en azından hat uzunluğu bazında Çin ve İspanya’dan sonra 3.büyük olmak gerçek dışı bir hedef olmayacaktır. Çünkü gerçekleştirilmesi planlanan yatırımlar hayata geçtiğinde ortaya çıkacak olan tablo bunu göstermektedir.

Ülkemizde açılan ilk yüksek hız hattı olan Ankara-Eskişehir YHD hattı, Eskişehir-İstanbul etabının da tamamlanması ile birlikte Ankara’dan İstanbul’a kesintisiz yüksek hız erişimini temin etmiştir. Söz konusu ikinci etap tamamlanmadan önce ise bir diğer yüksek hız hattı olarak ise Ankara-Konya YHD hattı açılmıştır. Bu hattın takibinde ise Konya-Eskişehir YHD bağlantısı tamamlanmıştır. Hâlihazırda İstanbul’dan Konya’ya kadar kesintisiz YHD ulaşımı sağlanmakta olup yakalanan işletim hızları ise 200 ila 250 km/saat’ler bandındadır. İnşası devam eden bir başka hat ise İstanbul-Edirne YHD hattı iken bir diğeri ise Ankara-Afyon-Manisa-İzmir YHD hattıdır. İzmir’e ulaşacak olan hattın inşasında Ankara’dan başladığında Afyon dolaylarında olduğu görülmektedir. Bir diğer önemli hat ise Ankara-Yozgat-Sivas YHD hattıdır. Bu hattın ise yarısından çoğu tamamlanmış olup inşa süreci devam etmektedir. Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars etabının ise hızlı demiryolu hattı olması öngörülmekte olup buradaki hedef işletim hızları ise 200 km/saat’lerdir. Görüldüğü üzere esas itibari ile Ankara merkezli olarak dört ana koldan toplama ve dağıtma hedeflenmekte olup ikinci bir Ankara-İstanbul YHD bağlantısı da düşünülmektedir. Eskişehir’e uğramayacak olan hat Bolu dolaylarından geçecek olup mesafe kısaldığı gibi, daha iyi bir altyapı üzerinde 300-350 km/saat’lik işletim hızları hedeflenmektedir. Bu da 1 ila 1,5 saatlik seyahat süreleri ile Ankara’dan İstanbul’a yolculuk anlamına gelmektedir. Konya-Karaman-Antalya-Mersin YHD hattı ve Eskişehir-Kütahya-Antalya YHD hattı planlanan diğer yatırımlardır. Diğer taraftan ise Sivas-Malatya-Diyarbakır YHD hattı ve Ankara-Nevşehir-Kayseri YHD hattı da planlanan hatlar arasındadır. Bir diğer bahsi geçen hat ise Ankara-Çankırı-Samsun YHD hattı olup bir diğeri ise Erzincan-Gümüşhane-Trabzon YHD hattıdır.

Edirne’ye ulaşacak YHD hattı Bulgaristan ve Yunanistan’a bağlanacak iken Kars’a ulaşacak hızlı demiryolu hattı ise Bakü-Tiflis-Ahıska YHD hattı ile birleşecektir. Bakü-Tiflis-Ahıska

hattının tamamlanmasında ise ülkemizin önemli katkıları olmuştur. Hâlihazırda söz konusu hat da işleme alınmış olup Kars'tan yüklenen yük oldukça kısalan süreler ile Hazar Denizi'ne ve oradan da Kazakistan ve Asya ülkelerine ulaşmaktadır.

Ülkemizde konvansiyonel hatlar üzerine YHD bağlantısı bulunmamaktadır. Doğrudan yüksek hızlı demiryolu altyapı inşası ile süreç ilerlemektedir. Ancak ülkenin çeşitli bölgelerinde (güney ve kuzey) çeşitli hat bağlantılarının konvansiyonel demiryolu hatlarının iyileştirilmesi ile yüksek hızlı demiryolu hat işletimi olarak gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Şu ana kadar yük ve yolcu taşımacılığının birlikte ya da çift hat olarak gerçekleştiği bir YHD hat uygulaması da gerçekleştirilmemiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Yüksek hızlı demiryolu ağları Avrupa sathında sürekli bir ilerleme periyodundadır. Kıtada ülkelerin demiryolu kültürü ve hizmet anlayışı, politik düşünceleri, kentsel oluşumları ve merkezden uzaklaşma süreçleri bu ilerlemenin şeklini belirlemekte ve çeşitlendirmektedir. Fransa ve İspanya'da bu noktada bir sistematik yakalandığı, ekolün elde edildiği söylenebilir. Söz konusu sistematikte başkent merkezliğini tahkim edici yapı ve işletme süreçleri ile birbirinden uzak aralıklarla daha az sayıda istasyonlardan söz edilebilir. İspanya ve Fransa'nın nihai amaçları ulaştırma ağlarının yegâne merkezlerine dönüşen iki başkenti birbirine bağlamaktır. Yüksek hızlı demiryolları için bunları kapsayan ama bunlardan da öte çeşitli tasniflerden söz edilebilir. Söz konusu tasnifler esas alınacak olur ise bir güzergâh sathında ara istasyon kentleri ana istasyonlardaki büyük kentlere olan mesafelerine göre ölçeklendirilip ele alınabilir. Yüksek hızlı demiryollarının gerçek anlamda bir analizi, zaman ölçekli konumsal bazlı ulusal, kentsel ve de bölgesel çapta geleneksel bağlamda gerçekleştirilmektedir. Mesela üretilen seyahat maliyeti potansiyel erişilebilirlik için bir ölçek

olabilmektedir. Bununla birlikte bir erişilebilirlik tahmin ve hesap unsuru olarak yolculuk süresi, maliyet ve seyir frekansları anlamında kullanılabilir [12].

Yüksek hızlı demiryollarının dünya sathında hâlihazır (konvansiyonel) altyapılar üstünde 200 km/saat hızlarda işletildikleri görülmektedir. Bunun üzerindeki hızlar birçok ülkede yakalanabilmektedir, daha fevkindeki hızlara da test fazında erişilebilmektedir. Fransa, Çin, İspanya ve Japonya gibi ülkelerde YHD işletmesinde 250 km/saat ve üstü hızlar yakalanabilmektedir. Çin ve İspanya yüksek hızlı demiryolunda nispeten çok yeni olmalarına karşın önemli atılımlarla dünya liderliğindeki yerlerini almış iken Japonya ve Fransa ise 50 yıllık tecrübelerini teknik atılımları ile de tahkim edebilmişlerdir [12]. Yine uzun yıllardır yüksek hızlı demiryolu (YHD) sistematüğinde yer alan ülkelere Almanya hem ulusal ve hem de bölgesel çapta büyük bir ağı gerçekleştirebilmiş olup bu ülke de dâhil olmak üzere İtalya ve Britanya belirli hız limitlerinden öteye henüz geçememişlerdir. Türkiye'de ise yapılan ilk yüksek hızlı demiryolu (YHD) hatlarının işletimleri 200-250 km/saat aralıklarındadır. Bu durum Ankara-Eskişehir-İstanbul, Ankara-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hatları için böyledir. Ülkemizin geneli itibari ile Avrupa'nın geneline nazaran daha engebeli arazi yapısı da hız alma ve hız kesme olanaklarını ister istemez kısıtlamaktadır. Buna göre kimi güzergâhlarda hat kilometresinin artması nedeni ile maliyet artışı ile karşılaşılır iken kimi güzergâhlarda ise yatay kurb sayısındaki fazlalık nedeni ile hızlarda düşüş ile karşılaşmaktadır. Dolayısı ile konu sadece yapılan altyapının sınıfı ile ilgili değildir. Buna Ankara-Konya YHD hattındaki durum örnek olarak verilebilir. Zira bu hat Türkiye geneline göre düzlük bir topografya üzerinde olmasından dolayı inşaa süreci de daha kısa sürmüş olup, Ankara-Eskişehir-İstanbul YHD hattı ile aynı altyapı özelliklerine sahip olmasına karşın daha yüksek hızlarına ulaşılabilmiştir. Ve fakat ülkemizde yüksek hızlı demiryolu olarak adlandırılan hatların hem hız

hem altyapı ve hem de diğer kıstasları itibari ile bugün için yüksek hızlı demiryolu sınıfında olduğu söylenebilir.

Ülkemizde hâlihazırda Ankara merkezli olarak bir YHD ağ yapısı ortaya çıkacaktır. Günümüz itibari ile önümüzdeki dönemde işleme alınmaya en yakın görünen yüksek hızlı demiryolu hatları ise Ankara-Yozgat-Sivas YHD hattı, Ankara-Afyon-Manisa-İzmir YHD hattı ve Bilecik-Bursa(Yenişehir)-Balıkesir (Bandırma) YHD hattıdır. Bu hatlar tamamlandığında Türkiye'nin en büyük 4 ili birbirine yüksek hızlı demiryolu ile bağlanmış olacaktır.

Teşekkür

Akademik çalışmalarımızda emeği geçen hocalarımıza ve arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Taipador, F. J., Burckhart, K., Martí-Henneberg, J., 2009, "Characterizing European High Speed Train Stations Using Intermodal Time and Entropy Metrics", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Cilt 43, Sayı 2, ss. 197-208.
- [2] AB Ulaştırma Politikaları-1, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim Tarihi: 12.08.2012)
- [3] Ho, S. P., Liu, L. Y., 2002, "An Option Pricing-Based Model for Evaluating the Financial Viability of Privatized Infrastructure Projects", *Construction Management & Economics*, Cilt 20, Sayı 2, ss. 143-156.
- [4] Chen, C.,&Hall, P. (2011). The impacts of high-speed trains on British economic geography: A study of the UK's Inter City 125/225 and its effects. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 689–704. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.010
- [5] Takatsu, T., 2007, "The History and Future of High-Speed Railways in Japan". *Japan Railway & Transport Review*, Sayı 48, ss. 6-21.
- [6] Golobiç, 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
- [7] AB Ulaştırma politikaları-4, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim Tarihi: 14.02.2011)
- [8] Mancini, G., Malfatti, A., Violi, A. G., Matschke, G. "Effects of Experimental Bogie Fairings on The

Aerodynamic Drag of the ETR 500 High Speed Train". *Proceedings of the World Congress of Railway Research WCRR*, 2001.

- [9] Arduin, J. P., Ni, J., 2005, "French TGV Network Development", *Japan Railway & Transport Review*, Cilt 40, Sayı 3, ss. 22-28.
- [10] Crafts, N., 2009, "Transport Infrastructure Investment: Implications for Growth and Productivity", *Oxford Review of Economic Policy*, Cilt 25, Sayı 3, ss. 327-343.
- [11] Givoni, M., 2006, "Development and Impact of the Modern High-Speed Train: A Review", *Transport reviews*, Cilt 26, Sayı 5, ss. 593-611.
- [12] 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.



Porsuk çayı akım verilerinin değerlendirilmesi

Ali YILDIRAN

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
aliyildirann@gmail.com ORCID: 0000-0003-3130-6582

Süheyla YEREL KANDEMİR*

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
syerel@gmail.com ORCID: 0000-0003-4056-5383, Tel: (228) 214 15 59

Geliş: 27.07.2018, Revizyon: 29.10.2018, Kabul Tarihi: 30.10.2018

Öz

Dünyamızda canlılığın temel ihtiyaçlarından bir tanesi sudur. Hayatımızda bu kadar önemli bir yer tutan su dünyamızda sınırsız değildir. Bu nedenden dolayı dünyamızdaki su kaynaklarının bilinmesi, kontrol altında tutulması ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Su kaynaklarının büyük bir kısmı nehirlerden elde edilmektedir ve nehir akım değerlerinin bilinmesi günümüzde büyük önem taşımaktadır. Nehir akım değerleri birçok parametreye bağlıdır. Belirli sebeplerden dolayı bu parametrelerin ölçülememesi ya da eksikliği durumunda bizlere su miktarı ile ilgili bilgi verebilen ve sadece matematiksel olarak bir davranış modeli belirleyen kara kutu modelleri bulunmaktadır. Yapay sinir ağları günümüzde en çok tercih edilen kara kutu modelinden biridir. Bu çalışmada yapay sinir ağlarının, ileri beslemeli geri yayılım metodu ve çoklu doğrusal regresyon analizi ile gen ifade programlama tekniği kullanılarak 4 farklı senaryo belirlenmiş ve bu senaryoların hangilerinin doğruya en yakın tahminlerde bulunduğu incelenmiştir. Çalışma sonunda yapay sinir ağları modellerinin gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, regresyon analizi, akım, Porsuk Çayı, gen ifade programlama

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünyamızdaki su kaynakları sınırsız bir miktarda bulunmamaktadır. Toplam su miktarı yapılan araştırmalara göre 1,4 milyar km^3 'tür ve bunların sadece %2.5'lük bir kısmını nehir ve göllerde bulunan tatlı sular oluşturmaktadır. Ülkemiz yıllık ortalama 501 milyar m^3 yağış almaktadır ve bu yağışın 274 milyar m^3 'lük kısmı toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden dolayı gerçekleşen buharlaşmadan dolayı atmosfere geri dönmektedir. 158 milyar m^3 'lük kısmı da akıma dönüşerek farklı büyüklüklerdeki akarsular ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere dökülmektedir (DSİ, 2018).

Tüm dünya yaşamı için önemli bir yere sahip olan ve insanlık için vazgeçilemez bir kaynak olan su; korunması ve kontrol altında tutulması gereken bir kaynaktır. Yapılan hidroloji çalışmalarında nehir akım verilerinin ölçülemediği, eksik ölçüldüğü ya da geleceğe dair bir fikir vermesi gerektiği durumlarda uygun modelleme tahmin yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Debi ölçümlerinde kullanılan malzemelerin arazi koşullarına uygun seçilmemesi, ekipman eksikliği gibi durumlarda ölçüm değerlerinin elde edilmesinde birçok hidrolojik modeller türetilmiştir. Bunların içinde karakteristik birçok veriye ihtiyaç duyan parametrik modeller ve fazla miktarda veriye ihtiyaç duymadan matematiksel bir yaklaşımla tahmin modelleri oluşturan kara kutu modelleri bu eksik akım verilerinin hesaplanmasında ya da geleceğe dönük tahminlerin yapılmasında kullanılmaktadır (Küçük ve Ağrılioğlu, 2005-Gümüş vd., 2013).

Kara kutu modellerinden biri olan yapay sinir ağları; son yıllarda sıklıkla kullanılan bir modelleme ve analiz tahmin yöntemidir. Bazı analiz tahmin yöntemleri gibi çok sayıda veriye ihtiyaç duyulmadan doğruya yakın sonuçlar verebildiği, kullanım kolaylığı ve buna benzer sebeplerden ötürü su kaynakları tahmin ve analizlerinde son yıllarda sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yüzden bu tahmin metodu ile geçmişten günümüze kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır (Cıgızoğlu, 2003). Bu

konuda yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Savic vd. (1999), yağış akış modellemesi yapmak için gen ifade programlama ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada her iki yöntemden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Alp ve Cıgızoğlu (2004), ileri beslemeli geri yayılım metodu ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yöntemlerini bir modele uygulamış ve tahmin metodlarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda ileri beslemeli geri yayılım metodu genelleştirilmiş regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Demirpençe (2005), günlük akım verilerini kullanarak ileri beslemeli geri yayılım sinir ağı ile akım tahmini yapmıştır. Çalışmada 6 model oluşturularak performansları incelenmiştir. Keskin ve Taylan (2007), otoregresif model ve yapay sinir ağları modellerinin performanslarını karşılaştırdıkları bir çalışma yapmışlardır. Yapay sinir ağı modellerinin otoregresif modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Fay ve Ringwood (2007), dalgacık analizi ile yapay sinir ağı kullanımını birleştirerek oluşturulan dalgacık sinir ağı modelleri geliştirmişlerdir. Model başarılı tahminlerde bulunmuştur. Makkeasorn vd. (2008), iklim değişimi verilerinden yararlanarak kısa dönemli nehir akım tahmini yapmışlardır. Çalışmada gen ifade programlama ve yapay sinir ağı yöntemleri kullanılmıştır. Yurdusev vd. (2008), aylık akım ve yağış verilerini kullanarak yapay sinir ağı modelleri geliştirmiş ve bu modelleri test etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda verilerin yeterli sayıda olduğu durumlarda yapay sinir ağlarının, yağış akış modellemesinde güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Aytek ve Kişi (2008) günlük sediment-debi ilişkisini yorumlamak amacıyla genetik programlamadan faydalanmışlardır. Çalışma sonu verileri çoklu lineer regresyon yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve genetik programlama ile daha verimli sonuçlar alındığı görülmüştür. Okkan ve Mollamahmutoğlu (2010), Yiğitler Çayına ait günlük akım verilerinden faydalanarak yapay sinir ağları ile modelleme yapmışlardır. Hazırlanan yapay sinir ağı modeli çoklu regresyon modeli ile

karşılaştırılmış ve yapay sinir ağı verilerinin çoklu regresyon modeline göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Saplıoğlu ve Çimen (2010), yaptıkları çalışmada bir istasyonda mevcut ölçüm verileri yardımıyla, geçmişe dönük veriler elde edilip edilemeyeceğini irdelemişlerdir. Modelleme için 2000 – 2009 yıllarına ait 3170 adet günlük yağış verisi kullanılmıştır. Shiri ve Kisi (2011), genetik programlama ile sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemlerinden yararlanarak yeraltı su seviyesi tahminlerinde bulunmuşlardır. Her iki yönteminde yeraltı su seviyesi tahmininde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Kişi vd. (2013), Orta Sakarya havzasında yaptıkları çalışmada 1987-1991 yıllarına ait yağış ve akım verilerinden faydalanarak yağış akış modellemesi yapmışlardır. Çalışmada yapay sinir ağları, ANFIS ve gen ifade programlama yöntemleri kullanılmış, alınan sonuçlar çoklu lineer regresyon yöntemiyle elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kızılaslan vd. (2014), yapay sinir ağları kullanarak yaptıkları çalışmada farklı senaryolar belirleyerek en doğru sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Turhan ve Çağatay (2015), yaptıkları çalışmada bir istasyondan eksik olarak ölçülmüş aylık akım verilerini başka bir akım gözlem istasyonu yardımıyla tahmin etmek için yapay sinir ağları ile modelleme yapmışlardır. Ayrıca, Turhan ve Çağatay (2016)'da yaptıkları başka bir çalışmada Hatay havzasında yer alan akım gözlem istasyonu verilerinden faydalanarak eksik aylık akım verilerinin modellenmesi için ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları yöntemini kullanmışlardır.

Bu çalışmada, Sakarya havzasında yer alan ve Porsuk Çayı üzerinde bulunan Uludere akım gözlem istasyonundan alınan akım gözlem verileri kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. Yapay sinir ağlarının ileri beslemeli geri yayılım yöntemi ile hazırlanan bu tahmin modelleri daha sonra çoklu doğrusal regresyon analizi ve genetik programlama yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Bu çalışmada akım verilerinin tahmin edilmesi için Sakarya havzasının alt havzası olan Aşağı Sakarya havzasında yer alan Porsuk Çayı üzerindeki istasyon verileri kullanılmıştır. 2005-2015 yıllarına ait akım verileri kullanılarak hazırlanan modeller bir yapay sinir ağı yöntemi olan ileri beslemeli geri yayılım sinir ağı kullanılarak performansları incelenmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar çoklu doğrusal regresyon analizi ve gen ifade programlama sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Akım Gözlem İstasyonu

Çalışmada kullanılan akım verileri Uludere Uluçayır akım gözlem istasyonundan temin edilmiştir. Yağış alanı 290.7 km², rakım 826 m'dir. İstasyon 30° 24' 0" enleminde, 39° 38' 0" boylamında yer almaktadır ve Eskişehir Porsuk baraj yolunun 20. km sindeki Gökçek Işık köyünden sola ayrılan Yörük Kırkaköy yolunun 3 km ilerisinde bulunan Uluçayır köyündedir. 1964 yılında kurulan istasyon 2015 yılına kadar ölçümlerine devam etmiştir. Akım gözlem istasyonunun harita üzerinde yeri Şekil 1.'de verilmiştir.

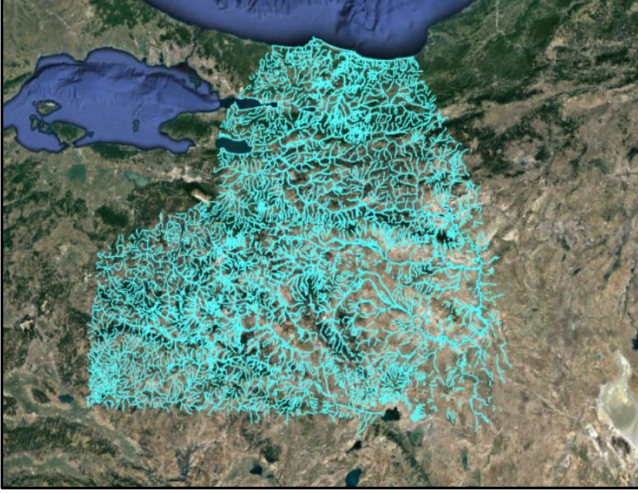


Şekil 1. Akım gözlem istasyonu (Google Maps görseli)

Havza Bilgileri

Sakarya havzası Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından belirlenmiş 26 akarsu havzasından biridir. Havza Aşağı Sakarya havzası ve Yukarı Sakarya havzası olmak üzere 2 bölüme ayrılmıştır (DSİ, 2018). Çalışma Aşağı Sakarya Havzasında yer alan Porsuk Çayı akım

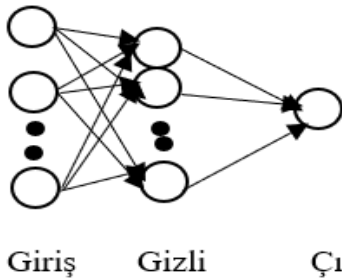
verileri kullanılarak yapılmıştır. Havzanın harita görseli Şekil 2.'de verilmiştir



Şekil 2. Sakarya Havzası (Google Maps görseli)

Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları; insan beynindeki sinir hücrelerinden ilham alınarak geliştirilmiş yapay sinir hücrelerinin farklı geometrileri ile birbirlerine bağlanarak meydana getirilmiş karmaşık sistemler olarak tanımlanmaktadır. Giriş bilgilerini alır, kendi içinde ilişkilendirir ve belirli bir işlem sıralamasından geçirerek sonuca ulaşır. Genel olarak yapay sinir ağları (YSA), verilen girdilere karşı sonuçlar üreten bir kara kutu modelidir (Kohonen, 1988; Terzi ve Köse, 2012). Yapay sinir ağının yapısı Şekil 3.'de verilmiştir.



Şekil 3. Yapay sinir ağının yapısı

Yapay sinir ağı şeklinde tanımlanan yapı genel olarak sinir hücresi adı verilen katmanlar, bu katmanları birbirleri ile ilişkilendiren ağırlık değerleri, verilerle işlem yapan bir matematiksel fonksiyon, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış değerleri şeklinde adlandırılan beş bölümden

oluşur. Her bir ağırlık değeri kendinden önceki ve sonraki katmanların arasındaki ilişkinin derecesini gösterir. Girdiler sonuç değerleriyle bu ağırlık değerlerine göre ilişkilendirilir ve toplama fonksiyonlarında gerekli işlemleri yapılır. Toplam fonksiyonunu gösteren matematiksel işlem denklem 1'de verilmiştir (Terzi ve Barak, 2015).

$$F_{\text{net}} = \sum_{i=1}^N w_{ij} x_i + c \quad (1)$$

Buradaki N değerleri giriş katmanındaki hücre sayısı, w_{ij} ağırlık değerleri, x_i giriş katmanında bulunan değerler ve c eşik düzey değeridir.

Girdilerin çıkış katman değerlerine dönüştürme işlemi için aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar toplama fonksiyonlarından gelen değerleri alır ve çıkış katmanına bu değerleri aktarır. Genel olarak 0-1 değerleri arasında tanımlanan aktivasyon fonksiyonlarının lineer, step, sigmoid ve hiperbolik tanjant gibi birçok farklı çeşidi bulunmaktadır. Uygulamalarda sıklıkla sigmoid aktivasyon fonksiyonu seçilmektedir (Öztemel, 2003). Sigmoid fonksiyonu denklem 2' de verilmiştir.

$$F(y) = 1/[1+(e)^{-y}] \quad (2)$$

Yapay sinir ağları hesaplamaları arasında sürekli ileri doğru girdileri çıktılar haline dönüştüren ve hataların azaltılması için ağırlıkları geriye doğru yenilemek olmak üzere iki aşama vardır. Bir yapay sinir ağları modelinin geleceğe dair güvenilir tahminler verebilmesi için verilerin ağı çok iyi öğretilmesi gerekmektedir (Şen, 2004).

Ağın katmanlar arasındaki ağırlık değerlerini güncellediği formül denklem 3'de verilmiştir.

$$A_{ij}^y = A_{ij}^e - \eta \frac{\partial T_a}{\partial A_{ij}} \quad (3)$$

Burada A_{ij}^y ağın yeniden güncellediği yeni ağırlık değerlerini, A_{ij}^e ağın önceki ağırlık değerlerini, η ağın öğrenme oranını, $\partial T_a \setminus \partial A_{ij}$ ağ hatasının eğimini göstermektedir. Yapay sinir ağları modellerinde ağın genelleme yeteneğinin

değerlendirilebilmesi için ağın giriş ve çıkış değerlerinin hepsi kullanılmamaktadır. Belirli bir kısım eğitim amaçlı diğer kısım ise test amacıyla kullanılmaktadır (Kişi, 2004; Gümüş vd., 2010).

Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Çoklu doğrusal regresyon analizi; bir değer değişiminin başka bağımsız değerlere bağlı olduğu durumlarda o değer tahmin edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Burada bağımlı değişken olan y değeri; bağımsız değişken x değerinin değişimine göre değişkenlik gösteriyorsa bu en basit tanımıyla $y = ax + b$ şeklinde ifade edilir ve bu lineer regresyon denklemi olarak tanımlanır (Gümüş ve Kavşut, 2013). Değişken sayısı arttıkça farklı hesaplamalar için değişken seçim yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Eğer bağımsız değişken sayısı birden fazla olursa ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) yapılması gereken işlem denklem 4’de verilmiştir.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \pm c \quad (4)$$

Bu denklem sayesinde birden fazla değişken içeren veri dizilerinin anlamlı bir şekilde tahmin modelleri hazırlanabilmektedir (Alpar, 2003).

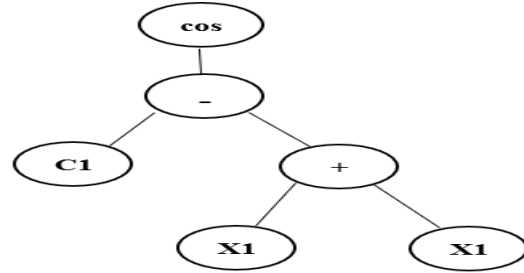
Gen İfade Programlama (GEP)

Genetik programlama; Koza (1992) tarafından tasarlanmış ve bir sistemde genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren sistemlerdir. (Demir vd., 2014).

Gen ifade programı, genetik programlama ve genetik algoritma ile arasında çok küçük farklılıklar bulunan bir sistemdir. Gen ifade programı genetik programlamadan farklı olarak karmaşık ve doğrusal olmayan veriler arasındaki ilişkiyi kurmada başarılıdır. Genetik algoritmadan farkı ise değişik boyut ve şekle sahip doğrusal olmayan veriler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için oluşturulan “işlem ağaçları” ile uygun çözümler verir (Lopes ve Weinert, 2004; Sarıdemir, 2016).

Genetik programlamada bireyler ya da veriler farklı boyut ve şekildeki lineer olmayan birimler (ağaçlar) olarak ifade edilen sabit uzunluktaki lineer kromozomlar şeklinde kodlanır. Bundan

dolayı gen ifade programlamadaki ana parametreler kromozom ve ağaçlardır (Kök vd., 2014). Bu ağaç yapılarına örnek bir çalışma Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Gen ifade programlama işlem ağacı

Şekil 4’de yer alan C1 ifadesi sabit bir değer, X1 ise değişken değerimiz olup diğer matematiksel semboller ise yapılacak olan işlem sıralamasını belirtmektedir. Şekilde verilen işlem ağacının matematiksel ifadesi denklem 5’de verilmiştir.

$$\text{Cos} (C1 - (X1 + X1)) \quad (5)$$

Uygulama

Çalışmada Uludere Uluçayır AGİ’ye ait 2005-2015 yılları arasında ölçülmüş 3620 adet günlük akım ölçüm verileri kullanılmıştır. Akım verileri ile ilgili ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri hesaplanmıştır. En yüksek akım verisi $33.3 \text{ m}^3/\text{s}$, en düşük akım verisi ise akımın gözlenmediği $0 \text{ m}^3/\text{s}$ yani yatağın kuru olduğu andır. 2005-2015 tarihleri arasında ölçülmüş günlük akım değerlerinin aritmetik ortalaması $0.5839 \text{ m}^3/\text{s}$ ve standart sapma değeri 0.882 olarak hesaplanmıştır.

Yapay Sinir Ağları ile Modellerinin Hazırlanması

Uludere Uluçayır AGİ’den temin edilen 3620 adet akım gözlem verisinin %80’i ağın eğitimi için %20’lik kısmı ise test aşaması için hazırlanmıştır. Verilerin analizi için bir yapay sinir ağı yöntemi olan ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

Veriler sigmoid fonksiyonunun kullanılması için $(x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ bağıntısının yardımıyla

0-1 aralığına normalize edilmiştir (Cobaner vd., 2008). Normalize edilen veriler sonuçlar alındıktan sonra yapılan normalize işleminin tersi uygulanmış ve gerçek veriler elde edilmiştir. Bu sayede veriler arasındaki uzaklık azaltılmış ve ağırlık eğitimi performansı artırılmıştır. Çalışmada 4 farklı senaryo hazırlanmıştır ve bu senaryoların performansları incelenmiştir. Birinci senaryoda bir gün önceki öteleme değerleriyle gerçek akım değerlerine ulaşmaya çalışılmıştır. İkinci senaryoda değerler bir gün ve 2 gün ötelenmiş şekilde kullanılmıştır. Üçüncü senaryoda giriş katman değerlerinin sayısı 3'e çıkarılmış ve akım değerleri sırasıyla 3 gün, 2 gün ve 1 gün

ötelenecek kullanılmıştır. Son olarak da 4. senaryoda veriler sırasıyla 4 gün öteleme, 3 gün öteleme, 2 gün öteleme ve son olarak da 1 gün öteleme yapılarak giriş katman değerleri olarak kullanılmıştır. Hazırlanan senaryolar Tablo 1'de verilmiştir.

Verilerin birbiriyle ilişkisini incelemek için ötelenmiş 4 verinin birbirleri arasındaki korelasyon ilişkisi hesaplanmış ve değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapay sinir ağı senaryoları

Durum Çıktılar	Girdiler	
1	Q-1	Q
2	Q-2, Q-1	Q
3	Q-3, Q-2, Q-1	Q
4	Q-4, Q-3, Q-2, Q-1	Q

Tablo 2. Korelasyon analizi sonuçları

Veriler	Q	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4
Q	1	0.9261	0.9256	0.8334	0.7285
Q-1		1	0.9169	0.8223	0.7592
Q-2			1	0.9185	0.8134
Q-3				1	0.9070
Q-4					1

Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi ile Modellerinin Hazırlanması

Çoklu doğrusal regresyon analizi için mevcut 3620 veri kullanılmıştır. 4 farklı model için 4 farklı regresyon denklemi kurulmuştur ve giriş

değerlerine göre de bağımsız değişken (x) sayıları belirlenmiştir.

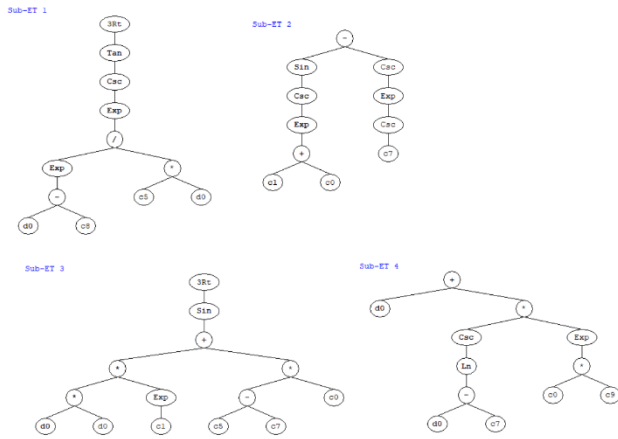
Analiz sonucu verileri tahmin edecek regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Denklemler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Bulunan regresyon denklemleri

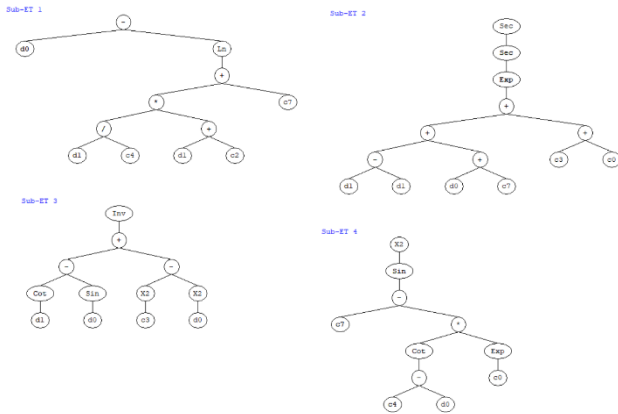
Model girdileri	Denklemler
Q-1	$y = 0.075161 + 0.8857x$
Q-1, Q-2	$y = 0.046 + 0.9337x_1 - 0.0853x_2$
Q-1, Q-2, Q-3	$y = 0.6858 + 0.9238x_1 - 0.185x_2 + 0.1482x_3$
Q-1, Q-2, Q-3, Q-4	$y = 0.0486 + 0.9005x_1 - 0.2204x_2 + 0.1471x_3 + 0.0328x_4$

Gen İfade Programlama (GEP) ile Modellerinin Hazırlanması

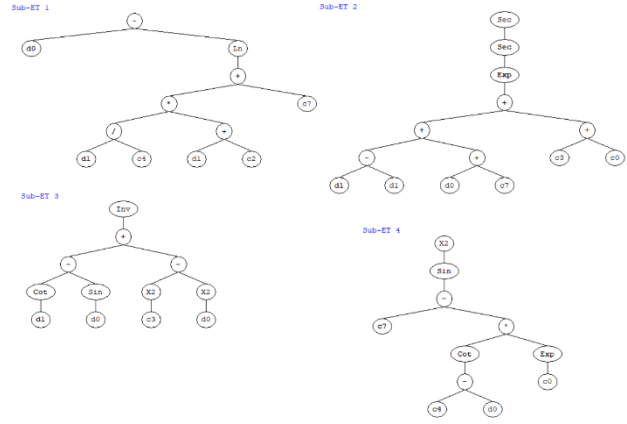
Genetik programlama için kullanılacak 3620 adet verinin %80'lik kısmı eğitim safhasında, %20'lik kısmı ise test safhasında kullanılmak üzere ayrılmıştır. Model girdileri karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizindeki girdilerle aynı seçilmiştir ve 4 model girdisi için işlem ağaçları bulunmuştur. Gen ifade programlamada kromozom sayısı 50, gen sayısı 4, başlık sayısı 8 ve mutasyon oranı 0.0044 olarak seçilmiştir. Bulunan işlem ağaçları Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



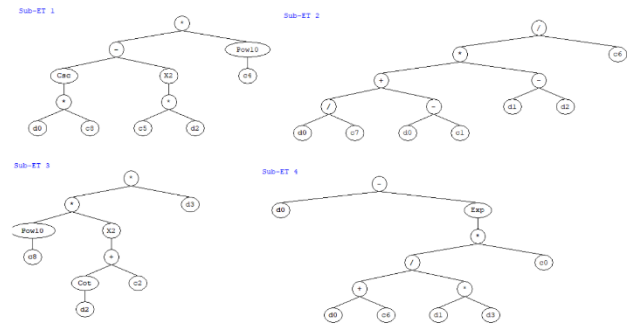
Şekil 5. Model-II GEP işlem ağacı



Şekil 6. Model-I GEP işlem ağacı



Şekil 7. Model-III GEP işlem ağacı



Şekil 8. Model-IV GEP işlem ağacı

Bulgular ve Tartışma

Oluşturulan modellerin yapay sinir ağları (YSA) çoklu regresyon analizi ve gen ifade programlama (GEP) ile tahminleri yapılmıştır. Bulunan veriler gerçek verilerle karşılaştırılmış ortalama karesel hata ve R^2 değerleri hesaplanmıştır. Ortalama karesel hata (OKH), veri serisinde gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının toplanıp, toplam veri sayısına bölünerek elde edilen bir değerdir. İstenilen değer ile bulunan değerler arasındaki hatayı karesel olarak gösterir. Bu değer sıfıra yakın olursa, tahmin edilen değer doğruya yakın olduğunu gösterir. R^2 ise tahmin edilen verilerin gerçek verilerle olan uyumunu gösteren bir değerdir. 0 ile 1 arasında değer alan R^2 değerinin 1'e yaklaşması bağımlı değişkendeki varyansın büyük bir kısmının modeldeki bağımsız olan değişkeni açıklayabildiği sonucunu verir (Ünver, 1999). Yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen verilerin OKH ve R^2 değerleri Tablo 4.' de verilmiştir.

Modellerin OKH ve R^2 değerlerinin yer aldığı Tablo 5. incelendiğinde, veri çokluğu bakımından en fazla veriye sahip Model-IV' ün en az dataya sahip Model-I' e göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapay sinir ağlarında model-IV çıkış katmanı verilerinden 0.9245 R^2 ve 25.98 OKH değerleri elde edilmişken; Model-I çıkış katmanı verilerinden 0.9185 R^2 ve 27.35 OKH değerleri elde edilmiştir. Gen ifade programlamada (GEP) model-IV çıkış katmanı verilerinden 0.8116 R^2 ve 25.98 OKH değerleri elde edilmişken; Model-I çıkış katmanı verilerinden 0.77 R^2 ve 34.04 OKH değerleri elde edilmiştir. Çoklu regresyon analizinde Model-IV çıkış verilerinden 0.7736 R^2 ve 34.82 OKH değerleri elde edilmişken; Model-I çıkış katmanı verilerinden 0.7540 R^2 değerine ve 36.57 OKH değerleri elde edilmiştir.

OKH değeri sıfıra en yakın olan model YSA ve çoklu regresyon analizinde 4 ötelemeli modeldir ve yine 1 değerine en yakın R^2 modeli 4 ötelemeli model olmuştur. Gen ifade programlamada ise Model-III, Model-IV' e göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

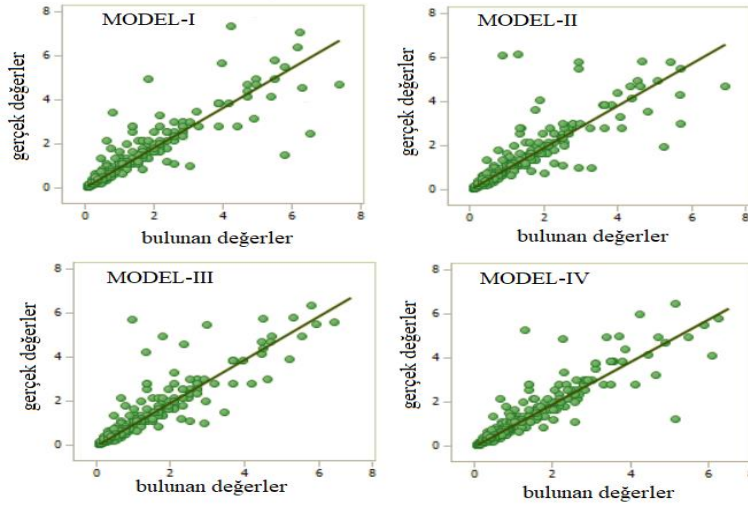
Gen ifade programlamada en iyi sonucu veren Model-III' e ait matematiksel gösterim aşağıda verilmiştir.

$$y=1/\ln[4.446-(\cot x_2/5.56)+1/8.04]+\ln(\sec(-3.28)-2.111)+(\cos(0.5)*x_2-2.11))+\tan(\exp(\sin(-0.436+7.525+\sec(3.14))^{1/3}))+\ln(\exp(\exp(\cos(x_3-x_1)*\ln 1.11*x_2))) \quad (6)$$

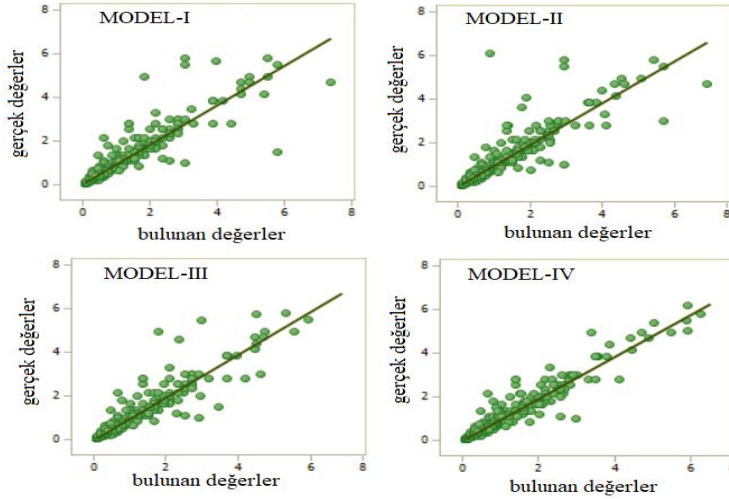
Modellere ilişkin OKH ve R^2 değerleri Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Modellerin OKH ve R^2 değerleri

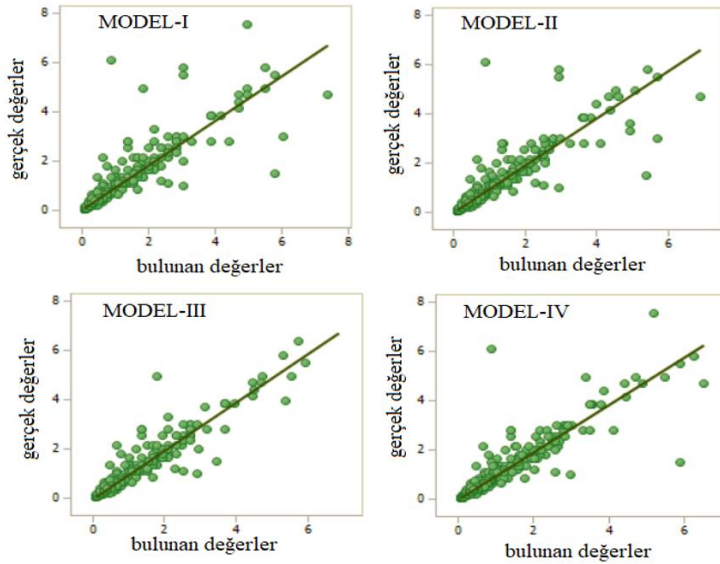
Modeller	YSA		ÇDR		GEP	
	R^2	OKH	R^2	OKH	R^2	OKH
I- Q-1	0.9185	27.35	0.7540	36.57	0.7700	34.04
II- Q-1, Q-2	0.9168	26.84	0.7660	36.11	0.7920	33.67
III- Q-1, Q-2, Q-3	0.9221	26.77	0.7730	35.99	0.8310	31.88
IV- Q-1, Q-2, Q-3, Q-4	0.9245	25.98	0.7736	34.82	0.8116	32.07



Şekil 9. Regresyon sonuçları saçınım diyagramları



Şekil 10. YSA sonuçları saçılım diyagramları



Şekil 11. GEP sonuçları saçılım diyagramları

Grafikler incelendiğinde YSA modellerinin regresyon modellerine ve gen iletim programlama modellerine göre verdiği değerlerin gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada 3620 adet akım verisi yapay sinir ağları, çoklu regresyon analiz yöntemi ve gen ifade programlama ile modellenmiştir. Akım verileri 1 gün, 2 gün, 3 gün ve 4 gün ötelenerek modeller oluşturulmuş ve ileri beslemeli geri yayılım sinir ağı ile çoklu doğrusal regresyon

analizi ve gen ifade programlama yardımıyla 4 adet model hazırlanmış ve 3 farklı yöntem ile başarıları sınanmıştır. Veri ağının birbirleriyle olan ilişkisi ne kadar yüksekse tahminlerin doğruya daha yakın yapıldığı görülmüştür. Birbirleri ile ilişkisi yüksek olan veri sayısı artırıldığında her üç yöntem içinde bulunan tahmin verileri gerçek verilere daha fazla yaklaşmıştır. Gen ifade programlamada Model-III en iyi sonuçları vermiş 4 gün öteleme verilerinin de eklendiği Model-IV de ise gen ifade programlama tahmin değerleri gerçek değerlerden uzaklaşmıştır. Model-IV, yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizinde

Model-I, Model-II ve Model-III tahmin verilerine göre en başarılı sonuçların alındığı model olmuştur. Yapay sinir ağları özellikle yüksek miktardaki verinin modellenmesi ve gerçek verilerin tahmininde çoklu regresyon analiz yöntemine ve gen ifade programlamaya göre daha yüksek başarı göstermiştir. Yapay sinir ağlarının bu başarısı mevcut verilerin birbiriyle olan ilişkilerini iyi bir şekilde analiz etmesinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak akım gözlem istasyonlarında ölçülemediği, yanlış ölçülmüş ya da ileriye dönük tahmin edilmesi gereken verilerin bulunmasında yapay sinir ağlarının, çoklu doğrusal regresyon analizi ve gen ifade programlamaya göre daha başarılı sonuçlar veren bir analiz tahmin yöntemi olduğunu görülmüştür.

Kaynaklar

- Alp, M., Cıgızoğlu, H. K., (2004). Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları İle Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, *İTE İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Dergisi*, 3:1, 80-88.
- Alpar, R., (2003). Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1, Detay Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- Aytek, A., Kisi, O., 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modelling, *Journal of Hydrology*, 351:3, 288-298.
- Cıgızoğlu, H. K., (2003). Incorporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural networks, *Environmetrics*, 14:4, 417-427.
- Cobaner, M., Seckin, G., Kisi, O., (2008). Initial assessment of bridge backwater using an artificial neural network approach, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35, 500-510.
- Demir, M., Ceritbinmez, F., Kanca, E., (2014). Plastik Parça Üretiminde Çapaklanma Miktarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Tahmin Edilmesi, Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Demirpençe, H., (2005). Köprüçay Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisleri Sorunları Kongresi, Antalya.
- Fay, D., Ringwood, J. V., (2007). A wavelet transfer model for time-series forecasting, *International Journal Bifurcation and Chaos*, 17:10, 3691-3696.
- Gümüş, V., Kavşut M. E., Yenigün K., (2010). Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesinde YSA Kullanımının Değerlendirilmesi: Orta Fırat Havzası Uygulaması, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, Diyarbakır.
- Gümüş, V., Soydan, N. G., Şimşek, O., Aköz, M. S., Kırkgöz, M., S., (2013). Yağış Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28:1, 37-49.
- Gümüş, V., Kavşut M. E., (2013). Zamanti Nehri Ergenusağı İstasyonu Eksik Aylık Akım Verilerinin Tahmini, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1:2, 81-91.
- Keskin, M. E., Taylan, E. D., (2007). Orta Akdeniz Havzasındaki Akımların Stokastik Modellemesi, *İMO Teknik Dergi*, 282, 4271-4291.
- Kızılaslan, M., Anıl, F.S., Doğan, E., Sönmez, O., (2014). Aşağı Sakarya Nehri Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18:2, 99-103.
- Kişi, Ö., (2004). Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Teknikleri ile Filyos Çayı Akımlarının Tahmini, IV. Hidroloji Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Kisi, O., Shiri, J., Tombul, M. (2013). Modeling rainfallrunoff process using soft computing techniques, *Computers & Geosciences*, 51, 108-117.
- Kohonen, T., (1988). An introduction to neural computing, *Neural Networks*, 1, 3-6.
- Küçük, M., Ağrılioğlu, N., (2005). Dalgacık dönüşüm tekniği kullanılarak hidrolojik akım serilerinin modellenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5:2, 69-80.
- Koza, J. R., (1992). Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- Kök, M., Kanca, E., Doğan, M. A., Çavdar, F., (2014). AL2 O3 Takviyeli AA6061 MMK'lerde Genetik Algoritma Yöntemiyle Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmin Edilmesi, *Mühendis ve Makina*, 55:651, 57-64.
- Lopes HS, Weinert WR., (2004). A gene expression programming system for time series modeling. In: Proceedings of XXV Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE), Recife (Brazil), 10- 12/November, 1-13, 2004.
- Makkeasorn A., Chang N. B., Zhou X., (2008). Short-term streamflow forecasting with global climate change implications – A comparative study between genetic programming and neural network models, *Journaş of Hydrology*, 352, 336-354.
- Okkan, U., Mollamahmutoğlu, A., (2010). Yiğitler Çayı Günlük Akımlarının Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Analizi İle Modellenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 33-48.
- Öztemel, E., (2003). Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- Saplıgolu, K., Çimen M., (2010). Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Tahmini, *Mühendislik Bilimleri Tasarım Dergisi*, 1:1, 14-21.
- Sarıdemir, M., (2017). Metakaolin ve silis dumanı içeren betonların basınç dayanımının gen ifadeli programlama

- ile tahmin edilmesi Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 23:3, 238-244.
- Savic D. A., Walters, G. A., Davidson J. W., (1999), A Genetic programming gapproach to rainfall-runoff modelling, *Water Resour Manag*, 13, 219-231.
- Shiri, J., Kisi, Ö., (2011). Comparison of genetic programming with neuro-fuzzy systems for predicting short-term water table depth fluctuations, *Computers & Geosciences*, 37:10, 1692-1701.
- Şen, Z., (2004). Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Terzi, Ö., Köse, M., (2012). Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Göksu Nehri'nin Akım Tahmini, *SDU Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4:3, 1-7.
- Terzi, Ö., Barak M., (2015). Dalgacık-Sinir Ağı ile Yağış-Akış Tahmini: Kızılırmak Nehri Örneği, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 546-557.
- Turhan, E., Çağatay, H.Ö., (2015). Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi ile Göksun Nehri Poskoflu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) Eksik Akım Verilerinin Tahmin Edilmesi, VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Şanlıurfa.
- Turhan, E., Çağatay, H.Ö., (2016). Eksik Akım Verilerinin Tahmin Modelinin Oluşturulmasında Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı: Asi Nehri Demirköprü Akım Gözlem İstasyon Örneği, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31, 93-106.
- Ünver, Ö., (1999). Uygulamalı İstatistik Yöntemler, Siyasal Kitabevi, Ankara, Türkiye.
- Yurdusev, M. A., Acı, M., Turan, M. E., İçağa, Y., (2008). Akarçay Nehri Aylık Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 4:1, 73-88.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Web Sitesi.
<http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>,
(05.04.2018).

Assessment of streamflow data in Porsuk Creek

Extended abstract

The water resources in our world are not unlimited. The total amount of water is 1.4 billion km³ and only 2.5% of them are fresh waters in rivers and lakes. Water, which is an indispensable resource for mankind, has an important place for all world life; protection and control is a resource that must be kept in fact.

In this study, prediction models were developed by using 3620 observation data obtained from Uludere flow observation station located in Porsuk Creek. Models prepared using current data for 2005-2015 are compared using prediction methods. These prediction models, which were prepared by forward feedback propagation method of artificial neural networks, were then compared with the results of multiple linear regression analysis and Gene Expression Programming results.

Artificial neural networks; It is defined as complex systems which are formed by connecting with different geometries of artificial nerve cells which are inspired by nerve cells in human brain. The nerve cells consist of five sections called layers, called the weight values, mathematical functions, activation function and output values that connect and these layers. The feed-forward inversion neural network used in the study is an artificial neural network method and has two stages, which transform the forward input into outputs and restore the weights backwards to reduce errors. The data are correlated to each other and the result values are compared to the actual values, then the system returns to the beginning and tries to give the closest results to the actual values by changing the weight values from the beginning.

Multiple linear regression analysis; is a method used to estimate that value when a value is dependent on other independent values. In its simplest form, it is mathematical expression of an unknown with a variable and a constant value. As the number of variables increases, different calculations and mathematical functions are needed. This analysis method is used in many analyzes in daily life both in terms of simplicity and processing speed.

Genetic programming; are the systems that are used to solve difficult problems by using genetic algorithm in a system. The most important feature of genetic programming is that its outputs data outputs as computer programs but not as mathematical values. The system scans all possible analyzes, continues to repeat the process even though it is enough and provides the most suitable solution to the problem as a computer program. The gene expression programming, which can deliver these results in different programming languages, is successful in establishing the relationship between complex and nonlinear data, unlike genetic programming. The results of the analysis of the models used in the study are given in the form of a processing tree with the help of gene expression programming. This process is transformed into mathematical functions and numerical data are obtained.

In this study, A total of 4 different input data were prepared by 1 day, 2 days, 3 days and 4 days. The prepared scenarios were evaluated by using artificial neural networks, multiple linear regression analysis and gene expression program. When the number of data associated with each other increases, the estimated data in each of the three methods takes a closer look at the actual data. Model-IV has been the most successful model in artificial neural network and multiple linear regression analysis. The most successful results in gene expression programming were obtained from Model III.

Artificial neural networks have shown a higher success rate than the multiple regression analysis method and Gene Expression Programming results, especially in modeling high-level data and predicting true data. This success of artificial neural networks is since existing data analyze well their relations with each other. As a result, it has been observed that artificial neural networks are an analytical method of predicting successful results in the presence of unmeasured data at monitoring stations.

Keywords: Artificial neural networks, regression analysis, runoff, Porsuk creek, Gene Expression Programming



Türkiye’de meydana gelebilecek depremlere karşı afet yönetim sistemi performansının veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi

Ufuk ALTINSOY*

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale
altinsoyufuk@gmail.com ORCID: 0000-0001-5274-9222

Erdem AKSAKAL

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum
erdem.aksakal@atauni.edu.tr ORCID: 0000-0003-0746-5727

Geliş: 13.12.2018, Revizyon: 02.02.2019, Kabul: 04.02.2019

Öz

Teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle beraber nüfus yoğunluğunun artması ile doğal ve beşeri kaynaklı afetler insanlar için gittikçe daha riskli ve zararlı olmaya başlamıştır. Bu durum insanları afetlere karşı daha duyarlı olmaya bununla beraber olası felaketlerin önüne geçmek ve etkisini azaltmak için afet yönetim sistemleri kurmaya yönlendirmektedir. Ülkemiz de üzerinde bulunduğu coğrafya sebebiyle ani gelişen doğal afetlerden olan deprem tehlikesi yüksek ülkeler arasındadır. Bu çalışmada, yakın zamanda meydana gelen dört büyük deprem örneklem olarak ele alınarak, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) biri olan Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemiyle Türkiye'nin depremlere karşı afet yönetim sistemi performansının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Türkiye’de meydana gelebilecek depremlere karşı oluşturulan afet yönetim sisteminin yeterli olup olmadığı, sistemin eksik yanlarının neler olduğu ve ne gibi tedbirler geliştirilmesi gerektiği ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Veri Zarflama Analizi, Afet Yönetim Sistemi, Deprem, Performans Analizi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünya üzerindeki son dönemlerde yaşanan afetleri göz önünde bulundurduğumuzda sayıca bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Afet, hayatımız boyunca olumsuz sonuçlar doğurabilecek, ne zaman, nerede ve nasıl meydana gelebileceğini daha önceden kesin bilgilerle doğrulayamadığımız, insanlar için maddi ve manevi kayıplara yol açan, gündelik yaşamımızı durduran veya kesintiye uğratan doğal ya da doğal olmayan nedenlerle oluşan olaylardır. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi afet, olayın kendisinden çok ortaya çıkardığı sonuçlar olarak görülmektedir. Afetlerin sebep olduğu kayıplar afetlerin büyüklüğünün göstergesidir (Kadıoğlu, 2008).

Diğer bir ifadeyle afet, insanların yaşamları süresince karşılaşılabileceği, sosyal ve psikolojik yaşamını çok fazla etkileyen bir olay olması sebebiyle, toplumun planlı ve programlı bir şekilde hazırlıklı olmaları gereken çevresel ve sosyal sorunların başında gelmektedir (Yılmaz, 2003).

Afetleri beşerî afetler ve doğal afetler olarak iki grupta sınıflandırabiliriz. Beşerî afetler kaynağı büyük oranda insana bağlı olan afet türüdür. Doğal afetler ise meydana geliş sebepleri doğa olaylarına bağlı afetlerdir. Doğal afetleri ise iki grupta incelemek mümkündür: Jeolojik tabanlı afetler ve Meteorolojik tabanlı afetler (Yılmaz, 2003).

Dünyadaki en etkin deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan ülkemizin topraklarının % 93'ü deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır.(SATIR BAŞI)

Ülkemizde gerçekleşen afetlerle ilgili istatistiksel verilere göre, ülkemizde meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, afetten etkilenen insan sayısı bakımından birinci sırada % 58 oran ile depremler gelmektedir (Altun, 2018). Bu sebeple, ülkemizde afet kavramı denildiğinde akla deprem gelmekte ve alınan önlemler ve yapılan çalışmalar genellikle bu kapsamda olmaktadır.

Ülkemiz yapısı nedeniyle jeolojik tabanlı afetler grubuna dahil olan, dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birisidir. Özellikle Erzincan depremi (13 Mart 1992), Marmara depremleri (17 Ağustos/12 Kasım 1999), Bingöl Depremi (01 Mayıs 2003) ve Van depremleri (29 Ekim/09 Kasım 2011) göz önüne alındığında deprem riskinin boyutları net olarak ortaya çıkmaktadır. Yaşadığımız bu depremler neticesinde binlerce vatandaşımız hayatını kaybetmiş veya yaralanmış, yüz binlerce yerleşim alanı kullanılmaz hale gelmiş ve ülkemiz büyük ekonomik kayıplara uğramıştır. Özellikle Marmara depreminden sonra depremin önemini daha iyi anlayan ülkemiz depremin geride bıraktığı etkileri daha aza indirebilmek için çalışmalar yürütmeye başlamıştır. Bu anlamda yapılması gereken çalışmalar iki grupta incelenmiştir. Birincisi olası afet öncesi riskleri en aza indirmek ve tehlikelere karşı tedbirli olmak, ikincisi ise afetlerden sonra müdahale konusunda kapsamlı ve ayrıntılı planlar yapmaktır.

Bu sebeple doğal veya beşerî insan kaynaklı afetler sonucunda insan hayatı başta olmak üzere meydana gelen diğer kayıpların önlenmesi, olası risklerin belirlenebilmesi ve azaltılması, bu doğrultuda gerekli planlama ile eğitim, tatbikat ve buna benzer çalışmaların yapılması, önceden tahmin veya erken haber alma sisteminin geliştirilmesi, gerektiği zaman etkili müdahale yapılarak zararların en aza indirilebilmesi, bütünlük çalışmalar neticesinde hayatın normale dönebilmesi için yapılacak tüm işleri afet yönetimi dâhilinde değerlendirmemiz gerekmektedir (Kadıoğlu, 2008)

Meydana gelen afetlerin tüm aşamalarında yapılması gereken çalışmaların planlanması, sevk ve idare edilmesi, koordinasyon sağlanması, uygulanabilmesi için devletin tüm kurum ve kuruluşlarıyla, kaynaklarını aynı hedeflere yönlendirmesini gerektiren afet yönetimi, oldukça geniş bir olgudur. Afet ile mücadele tüm kaynakların bir güç olarak birleşmesidir (Yılmaz, 2003).

Bu çalışmada, yakın zamanda meydana gelen dört büyük deprem örneklem olarak ele alınarak, Türkiye'nin depremlere karşı afet yönetim sistemi performansının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Her sistemin kendine ait bir hedefi vardır. Bu hedefler genelde yüksek verimlilik, yüksek kar ve düşük maliyet, memnuniyet, üstün hizmet gibi performans vasıtalarıyla tanımlanabilirler. Yani bir sistemin istediği hedefe ulaşmış ve ulaşmadığı performans ölçümleri ile belirlenebilir.

Sistemlerin performansları ise etkinlik analizleri ile ölçülebilmektedir. Etkinlik analizleri üç yöntemle ölçülebilmektedir. Bu yöntemler oran analizi, parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerdir. Bu bağlamda çalışmamızda birden fazla sayıda girdi ve çıktı değişkeninin beraber çalışmasına fırsat tanıyan, parametrik olmayan, ÇKKV yöntemlerinden biri olan VZA tercih edilmiştir.

Veri Zarflama Analizi Çalışmaları

Bu bölümde VZA ve afet yönetim sistemi tabanlı VZA konusu üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. VZA'nın uygulama alanına hizmet üreten birçok işletme ve kamu kurumları girer. Literatürde VZA ile ilgili farklı sektörlerde birçok çalışma bulunmaktadır. Hastanelerde, bankacılık sektöründe, eğitim kurumlarında, konaklama tesisleri gibi birçok sektörde VZA yöntemiyle çalışmalar yapılmıştır (Bakırcı ve Babacan,2010).

VZA literatürde çok sayıda kullanılmasına karşın ülkemizde genellikle sağlık sektörü ve eğitim kurumları alanında kullanılmasıyla sınırlı kalmış olup yaygın kullanım alanına sahip değildir. Bunun sebebi ise yöntemin uygulanabilirliğinin karmaşık olarak kabul edilmesi, veri kümelerine erişilebilirliğinin güç olması olarak değerlendirilse de özellikle son zamanlarda VZA ile ilgili paket programların geliştirilmesi yöntemin yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır (Mecit, 2005).

Örneğin; Kıyıldı ve Karşahin (2006) ülkemizdeki 32 havalimanını VZA ile değerlendirmiştir. Yazarlar çalışmalarında havalimanlarının alt yapı kapasite durumunu

ortaya koyabilecek veriler tespit etmiş ve bunları değişken olarak VZA modelinde kullanmıştır.

Peker ve Birdoğan (2009) VZA yaklaşımını kullanarak Türkiye'deki havalimanlarının 2007 yılındaki etkinliklerinin ölçülmesini amaçlamışlardır. Yazarlar çalışmalarını Kıyıldı ve Karşahin (2006)'nin yaptığı çalışmadan farklı olarak havalimanlarını büyük ve küçük havalimanları olacak şekilde gruplandırmış ve hangi havalimanlarının etkin hangi havalimanlarının etkin olmadığını gözlemlemiştir.

Gürler (2015) yapmış olduğu çalışmada ülkemizdeki havalimanlarının etkinlik analizini VZA ve yapay sinir ağlarını (YSA) birbirine entegre ederek yapmıştır. Önce VZA ile etkinlik ölçümü yapılmış sonra ise yeni faaliyete girecek havalimanının etkinliğini tahmin edebilen bir YSA modeli geliştirmiştir. Babacan ve Özcan (2009) çalışmalarında VZA yardımıyla otel işletmelerinin göreceli etkinliklerini ölçmüşlerdir. Rouyendegh ve Erkan (2010) çalışmalarında önce LINDO ile model kurmuş ve analiz yapmış ikinci aşamada ise Babacan ve Özcan (2009) 'nın çalışmalarına ek olarak bulunan sonuçlar üzerinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) tekniği ile Ankara'da bulunan 21 adet 4 yıldızlı otel arasından birbirine yakın 8 otelin etkinlik değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir.

Baysal ve Toklu (2001) Konya'da bulunan bazı ortaöğretim kurumlarının performanslarını VZA yöntemi ile ölçmeye çalışmışlardır. Hem girdi odaklı hem çıktı odaklı VZA modelleri kurarak çözümleri LINDO programı ile yapmışlardır. Kutlar ve Kartal (2004) çalışmalarında Cumhuriyet Üniversitesinin 8 fakültesini örneklem olarak ele almış ve üniversitenin verimlilik analizini söz konusu fakülteler temelinde VZA yöntemi ile belirlemiştir.

Özden (2008), Kutlar ve Kartal (2004)'dan farklı olarak, çalışmada Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliklerini ölçerken VZA ile etkinlik analizini yapmış sonrasında ise süper etkinlik modelleri yardımıyla üniversitelerin etkinlik sıralamalarını da belirlemiştir. Türker

(2012) ise önceki çalışmalara benzer olarak üniversite bölümlerinin etkinlik analizini yapmıştır. Fakat bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak VZA ve bulanık DEMATEL yöntemi beraber kullanılmıştır.

Irmak (2014) Sivas ilinde bulunan 10 devlet hastanesine ait 2013 yılı verilerini kullanarak VZA yöntemiyle etkinlik değerlendirmesi yapmıştır. Bal ve Bilge (2013) sağlık bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastanelerinin etkinliklerinin araştırılmasını hedeflemiş ve bu bağlamda 35 eğitim ve araştırma hastanesinin verilerini değerlendirerek sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Yazıcı ve Kalın (2018) çalışmalarında coğrafya bölümü ve sosyal bilgiler öğretmenliği öğrencilerinin doğal afet konusunda oluşturdukları metaforlarını nitel araştırma yöntemlerinden olan olgu bilim deseni kullanarak analiz edip yorumlamışlardır.

Çalışmamızın konusu olan afet yönetim sistemi ve depreme karşı savunmasızlık değerlendirmesi konularında yapılan çalışmalar mevcuttur.

Korkmaz (2010) yapmış olduğu çalışma ile deprem sonrasında meydana gelebilecek tehlikeyi ve hasarı ortaya koyabilmek için entegre sismik tehlike değerlendirmesi ve afet yönetimi yaklaşımı ile etkin, hızlı ve güvenilir bir kayıp tahmini planlaması yapmıştır.

Panahi ve diğerleri (2014) yaptıkları çalışmada Tahran şehrindeki okul binalarının sismik açıdan savunmasızlığını Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelinde değerlendirmiştir. Delavar ve diğerleri (2015) Panahi ve diğerleri (2014)'ne benzer şekilde İran/Tahran için CBS tabanlı grup karar verme yaklaşımı kullanarak hastane binalarının depreme karşı savunmasızlığın ve zayıflığın değerlendirmesi yapmışlardır. Literatür incelendiğinde ise afet yönetim sistemi, afet ve deprem konularının VZA ile birlikte çok sınırlı sayıda kullanıldığı gözlemlenmiştir. VZA yöntemiyle etkinlik ve performans değerlendirilmesi yapılan afet yönetim sistemi çalışmaları Tablo 1 'de özetlenmiştir.

Yazar Adı	Yayın Yılı	Girdiler ve Çıktılar	Konu
Wei ve diğerleri	2004	Girdi: Nüfus Yoğunluğu, Altyapı Düzensizliği Çıktı: Mağdur İnsan Sayısı, Ekonomik Kayıp	Bu çalışmada Çin'deki depremlere karşı savunmasızlığın değerlendirilmesi yapılmıştır. 10 yıllık süreç ele alınarak eyaletlere göre depremin etki şiddetindeki değişimler ele alınmıştır. Böylelikle bölgelerin depreme karşı hassasiyetleri değerlendirilmiştir (Wei vd., 2004).
Zou ve Wei	2009	Girdi: Nüfus, Üretim Yapısı, Tüketim Yapısı, Ekonomik Büyüme, Tasarruf ve Yatırım, Dış Ticaret, Devlet Finansmanı, Dış Borç Durumu Çıktı: Hayatını Kaybeden Toplam İnsan Sayısı, Felaketten Etkilenen İnsan Sayısı, Ekonomik Kayıp	Bu çalışmanın amacı, ekonomik kalkınma ile kıyı felaketlerinden kaynaklanan kayıplar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek ve hem tehlikelerin gelişim üzerindeki etkisini hem de bu tür kalkınmanın tehlikelere karşı dayanıklılığı tanımlamaktır (Zou ve Wei, 2009).
Pan ve Li	2010	Girdi: Önleme ve Erken Uyarı Sistemleri, Yardım Fonu Miktarı, Kurtarma Personeli Sayısı, Kurtarma Hızı Çıktı: Mağdur Sayısı, Ekonomik Kayıp, Yeniden Yerleşim, Yeniden İnşa	Çin'deki üç büyük deprem olayı ile deneysel araştırmalar yürütülmüş ve VZA'ya dayalı acil durum yönetimi performansı değerlendirme sistemi incelenmiştir (Pan ve Li, 2010).

Huang ve diğerleri	2011	Girdi: Bölgesel Afet Tehlikesi, Bölgesel Sosyo-Ekonomik Sisteme Maruz Kalma Çıktı: Bölgesel Doğal Afet Kayıpları	Veri zarflama analizi modeli kullanılarak Çin'de meydana gelebilecek afetlere karşı bölgesel olarak güvenlik açığının değerlendirilmesi yapılmıştır (Huang vd., 2011).
Üstün ve Barbarosoğlu	2015	Girdi: Arama Kurtarma Personel Sayısı, Arama Kurtarma Personel Çalışma Süresi, Sağlık Personeli Sayısı, Sağlık Malzeme Sayısı, Doktor Sayısı, Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) Çıktı: Yaralı Sayısı, Vefat Sayısı, Hasarlı Bina Sayısı, Altyapı alanı büyüklüğü, Hasta Sayısı, Çadır Sayısı, Günlük Yiyecek	1999 depremlerinde Türkiye afet yönetim sisteminin VZA ile performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Afet yardımını dört ana gruba ayırarak çalışmayı yürütmüşlerdir (Üstün ve Barbarosoğlu, 2015). Arama-Kurtarma Sağlık Hizmeti Temel İhtiyaçlar Altyapı Onarımı/Enkaz Kaldırma
Üstün	2016	Girdi: İlçe Yüzölçümü, İlçe Nüfusu, Ekonomik Durum, Bina Sayısı Çıktı: Yatak Sayısı (Hastane), Acil Tahliye Yolu, Tahliye ve Barınma Alanı, Kamu Bina Sayısı, Eğitim Bina Sayısı	İstanbul'un Afet Direnç Kapasitesinin VZA ile değerlendirilmesi yapılmıştır (Üstün, 2016).

Tablo 1: Veri Zarflama Analizi ve Afet Yönetim Sistemi Çalışmalar

Veri zarflama analizi

VZA, birbirine benzeyen girdiler kullanarak birbirine benzeyen çıktılar üreten karar verme birimi (KVB) etkinliklerini ölçmeye yarayan ve parametrik olmayan bir yöntemdir. VZA' da en verimli etkin birime göre kıyaslama yapılır. VZA' nın ortaya ilk çıkışı Farrell (1957)' in ağırlıklandırılmış çıktılar ile ağırlıklandırılmış girdilerin oranlanması ile performans ve etkinlik ölçümü yapan yaklaşımdır. VZA modelleri ile aynı girdi ve çıktıya sahip karar birimlerinin etkinlik analizi yapılabilir. Modelin çözümü sonucunda etkinlik skoru 1'e eşit olanlar etkin olarak değerlendirilir. Eğer etkinlik skoru 1'den düşük ise etkin olmayan KVB olarak değerlendirilir. Daha sonra etkin olmayan KVB etkin olan KVB' ne benzetilmeye çalışılır (Banker ve Thrall, 1992). Farklı bir ifadeyle etkin olmayan KVB etkin olan KVB (referans küme) gibi etkin olabilmek için tanımlanan kuramsal bir KVB' nin girdi ve çıktı değerlerini hedeflemesi gerekmektedir. Böylelikle etkin olmayan KVB için potansiyel iyileştirmeler

belirlenir ve bu iyileştirmeler yüzde olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$PI (\%) = (Hedef - Gerçekleşen) / (Gerçekleşen) \times 100$$

Veri zarflama analizi modelleri "girdiye yönelik" ve "çıkıya yönelik" olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki model temelde birbirine benzerler. Girdiye yönelik VZA modelleri mevcut çıktıyı elde edebilmek için en az girdinin kullanılması gerektiğini, çıkıya yönelik VZA modelleri ise belirli girdi değişkeni ile en fazla ne kadar çıktı üretilmesi gerektiğini araştırır (Banker ve Thrall, 1992).

VZA ilk olarak Charnes-Cooper-Rhodes (1978) tarafından ortaya atılmıştır. İsimlerinin baş harflerinden oluşan CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri altında karar verme birimlerinin etkin olup olmadığını ölçmeyi amaçlamaktadır. CCR modeli doğrusal programlama formatında aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\text{Mak } h_k = \sum_{r=1}^s U_{rk} Y_{rk}$$

(1)

$$\sum_{r=1}^s U_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_{ik} X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(2)

$$\sum_{i=1}^m V_{ik} X_{ik} = 1 \quad U_{rk} \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$V_{ik} \geq \varepsilon \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

h_k : k karar birimini, (Etkinliği Ölçülen KVB)

U_{rk} : k karar biriminin r çıktıları için ağırlığını,

v_{ik} : k karar biriminin i girdileri için ağırlığını,

Y_{rk} : k karar biriminin r. çıktı değerini,

X_{ik} : k karar biriminin i.girdi değerini,

Y_{rj} : j karar biriminin r. çıktı değerini,

X_{ij} : j karar biriminin i.girdi değerini,

ε : sıfıra çok yakın bir sayı (örneğin 0.0001)

r : s tane farklı çıktıyı

i : m tane farklı girdiyi,

j : n tane farklı karar birimini

ifade etmektedir.

CCR modelinden sonra Banker, Charnes, Cooper (1984) tarafından ölçeğe göre değişken getiri (Variable Returns to Scale: VRS) varsayımı ile girdiye yönelik Banker-Charnes-Cooper (BCC) modeli geliştirilmiştir. Modelde yer alan u_0 değişkeninin pozitif olması karar biriminin ölçeğe göre azalan getiri, negatif olması ölçeğe göre artan getiri ve sıfır olması ise ölçeğe göre sabit getiri durumunu ifade etmektedir. BCC modeli doğrusal modelleme formatında aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir:

$$\text{Mak } h_k = \sum_{r=1}^s U_{rk} Y_{rk} - U_0$$

(5)

Kısıt

$$\sum_{r=1}^s U_{rk} Y_{rj} - U_0 - \sum_{i=1}^m V_{ik} X_{ij} \leq 0 \quad j =$$

1, 2, ..., n

(6)

$$\sum_{i=1}^m V_{ik} X_{ik} = 1 \quad U_{rk} \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s$$

(7)

$$V_{ik} \geq \varepsilon \quad i = 1, 2, \dots, m$$

(8)

CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri ile girdi ve çıktı yönelimli olarak toplam etkinliği ölçerken, BCC modeli ölçeğe göre değişken getiri ile girdi ve çıktı yönelimli olarak teknik etkinliği ölçer (Charnes vd., 1981). Toplamsal model ise, KVB ölçeğe göre sabit getirili olduğunu varsayımına dayanarak toplam etkinlikleri belirlemek istendiğinde kullanılır. Tablo 2 'de CCR, BCC ve toplamsal modele ait özellikler belirtilmiştir.

Tablo 2: CCR, BCC ve Toplamsal Modele ait özellikler

Model	CCR Model	BCC Model	Toplamsal Model
Getiri	Ölçeğe göre sabit getiri	Ölçeğe göre değişken getiri	Ölçeğe göre sabit getiri
Etkinlik	Toplam etkinlik	Teknik etkinlik	Toplam etkinlik
Yönelim	Girdi ya da çıktı odaklı	Girdi ya da çıktı odaklı	Girdi ya da çıktı odaklı

VZA modelleri oluşturulurken eğer girdi değişkenleri ile ilgili kontrol az ise çıktı yönelimli bir model, eğer çıktı değişkenleri ile ilgili kontrol az ise girdi yönelimli bir model kurmaya dikkat edilmelidir (Cingi ve Tarım, 2000).

Uygulama

Amaç

Çalışmamızın amacı yaşamış olduğumuz depremler neticesinde meydana gelen maddi ve

manevi kayıpları en aza indirebilecek tedbirleri ortaya koyabilmektir. Bu kapsamda ülkemizin afet yönetim sistemi yaşanmış dört büyük depremi ele alınarak değerlendirilecektir. Değerlendirme ÇKKV yöntemlerinden biri olan VZA yöntemiyle yapılacaktır.

Değerlendirme neticesinde sistemin eksik yanlarının tespit edilmesi ve ne gibi tedbirler alınabileceğinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

Araştırma evreni ve örneklem

Araştırmanın evrenini Türkiye’de meydana gelen, maddi ve manevi kayıplara sebebiyet veren depremler oluşturmaktadır. Ülkemizde son 40 yıl içerisinde yaşanmış 11 deprem incelenmiştir. Ancak yaşanmış depremler ile ilgili verilerin elde edilebileceği sağlıklı bir veri tabanı bulunmaması sebebiyle Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi yayınları, Afet ve Acil Durum Başkanlığı yayınları, Erzincan İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü yayınlarından elde edilen veriler doğrultusunda çalışma yürütülmüştür. Elde edilen veriler Şekil 1’de gösterilmiştir. Yapılan analizin güvenilirliğini sağlamak için resmi olarak elde edilebilen verilere göre ülkemizde yaşadığımız depremler arasından örneklem kümesi oluşturulmuştur. Bu bağlamda kronolojik sırayla 15.03.1992 Erzincan depremi, 17.08.1999 ve 12.11.1999 Marmara depremi, 01.05.2003 Bingöl depremi, 23.10.2011 ve 09.11.2011 Van depremleri örneklem kümemizi oluşturmaktadır.

Çalışmada kullanılan girdi ve çıktıların belirlenmesi

Çalışmamızda kullanılan girdi ve çıktılar, elde edilebilen güvenilir veriler doğrultusunda, afet yönetim sisteminin müdahale ve iyileştirme aşamalarını yansıttığı değerlendirilen değişkenler arasından literatürde kullanım şekilleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Hayatını kaybeden insan sayısı çıktı değişkeni, enkazdan vefat etmiş olarak çıkarılan insan sayısını ifade etmektedir. Etkinlik ve verimlilik analizi yapılırken önemli olabilecek girdi ve çıktının

analize dâhil edilmemiş olmasına ve ilişkisiz bir değişkenin kullanılmamasına dikkat edilmiştir. Analizde kullanılan girdi ve çıktı kümesi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3: Analizde kullanılan girdi ve çıktı kümesi

Girdi Değişkenleri	Çıktı Değişkenleri
Arama-Kurtarma Personel Sayısı (X_1)	Hayatını Kaybeden İnsan Sayısı (Y_1)
Sağlık Personeli Sayısı (X_2)	Yaralanan İnsan Sayısı (Y_2)
	Hasarlı Yapı Sayısı (Y_3)
	Dağıtılan Çadır Sayısı (Y_4)

Çalışmada kullanılan istatistiksel yöntem ve paket program

Yapılan çalışmada etkinlik ve verimlilik analizinde son dönemlerde çok sık uygulama alanı bulunan VZA yöntemi kullanılmıştır.

Modelin çözümü Huberts Virtos tarafından geliştirilen, açık kaynak kullanıcı ara yüzüne sahip VZA dayanan kıyaslama aracı olan OSDEA-GUI programı yardımıyla yapılmıştır. Programın öne çıkan özellikleri, kolay kullanım sağlayan anlaşılır ara yüze sahip olması, kırk adet analizi üst üste yaparak daha önceki yapılan analizler ile karşılaştırma imkânı sağlaması, kontrol edilemeyen değişkenler ile analiz yapabilme imkânının olması, birçok değişken ve KVB ile analiz yapılabilmesidir.

Yapılan analiz çıktılar üzerinde kontrolün az olduğu değerlendirildiğinden “Girdi Yönelimli CCR Sabit Getirili Model” varsayımı altında gerçekleştirilmiştir.

DNU Names	ARAMA_KURTARIL_SAYI	DAGIT_CAGIRI	SAGLIK_PERS	HASARLI_YAPR	VEFAAT	VARSAI
ERZINCAN	3300.0	17347.0	1359.0	21880.0	653.0	3839.0
MARMARA	40789.0	165238.0	11431.0	177879.0	18243.0	48091.0
VAN	3300.0	76812.0	2955.0	144636.0	644.0	1266.0
BINGOL	1530.0	14000.0	1121.0	19065.0	176.0	530.0

Şekil 1: Elde edilen veriler

Araştırma bulguları

Girdi Yönelimli CCR Sabit Getirili Modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda yaşanan dört büyük depreme yönelik değerlendirilen afet yönetim sisteminden ikisinin görece toplam etkin olduğu diğer ikisinin ise görece toplam etkin olmadığı tespit edilmiştir. Etkinlik değeri 1'in altında olan yani etkin olmayan depremler, Erzincan depremi ve Bingöl depremidir. Analize ait etkinlik skorları Tablo 4 'te görüldüğü gibidir.

Tablo 4: Girdiye yönelik CCR modeline göre etkinlik skorları

Karar Verme Birimi (KVB)	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu
Erzincan Depremi (KVB ₁)	0.948199	Etkin değil
Marmara Depremi (KVB ₂)	1	Etkin
Bingöl Depremi (KVB ₃)	0.489109	Etkin Değil
Van Depremi (KVB ₄)	1	Etkin

Veri zarflama analizinin en önemli özelliği, etkin sınıra erişemeyen KVB için etkin KVB oluşturdukları etkinlik sınırına erişmesi için referans kümesi oluşturmaktır. Referans kümesi içerisinde bulunan KVB etkin olmayan KVB için neler yapılması gerektiğini, ne gibi tedbirler alması gerektiğini karar vericilere gösterir (Özden, 2008).

Tablo 5' te analiz sonucunda etkinlik skoru 1'in altında çıkan KVB için referans KVB olabilecek depremler belirtilmiştir. Modelde referans kümelerinde hangi depremlerin ne kadar sayıda yer aldığı, etkin KVB sıklığını göstermektedir. Etkin olmayan KVB Erzincan depremi için Marmara depremi, Bingöl depremi için hem Marmara depremi hem de Van depremi referans alınacak KVB'dir.

Tablo 5: Etkinlik sınırı altında kalan karar verme birimleri için referans kümeleri

Etkinlik Sınırı Altında Kalan Karar Verme Birimleri	Referans Olacak (Etkin) Karar Verme Birimleri
Erzincan Depremi	Marmara ve Van Depremleri
Marmara Depremi	Marmara Depremi
Bingöl Depremi	Marmara ve Van Depremleri
Van Depremi	Van Depremi

Etkin sınıra ulaşmak için Tablo 5'te referans olarak gösterilen KVB ait lambda değerleri Tablo-6 'da gösterilmiştir. Bu değerler iki referans kümesine sahip olan etkin olmayan KVB'nin hangi referans kümesinin girdi ve çıktı değerlerini hedef olarak alacağını ifade etmektedir.

Tablo 6: Karar verme birimlerine ait lambda değerleri

Karar Verme Birimi	KVB2	KVB4	Toplam
KVB1	0.076130248	0.064676883	0.140807
KVB2	1	0	1
KVB3	0.003618082	0.174502641	0.178121
KVB4	0	1	1

KVB'nin ikili parametreleri, referans kümesini belirler ve etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin girdi ve çıktı değerlerine ulaşmak için katkı oranını gösterir. Örneğin Erzincan depremi için toplam lambda değeri 0.140807 (0.07613+0.06467) yani %14' lük etki oranına sahiptir.

Etkin olmayan Erzincan depremi iki referans kümesine sahiptir. Ancak Marmara depremi parametresi Van depremine göre daha büyük olması sebebiyle Erzincan depremi girdi ve çıktı değişkenleri Marmara depremini referans küme olarak alacaktır.

Her ne kadar etkinlik skorları 1'in altında olsa da Erzincan depremi ve Bingöl depremi afet yönetim sistemi yapılacak küçük iyileştirme

tedbirleri ile etkinlik sınırına ulaşabilir. Bu durum VZA'nın en önemli ve öne çıkan özellikleri arasındadır. Etkin olmayan KVB'nin etkin olan KVB'nin benzetilmesi durumuna potansiyel iyileştirme denir (Bakır ve Babacan, 2010). Etkin olmayan KVB'nin girdi ve çıktı değişkenleri için potansiyel iyileştirme değerlerinin hedefleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Girdi ve çıktı değişkenlerine ait hedef değerler

		KVB ₁	KVB ₃
Girdi Değişkenleri	X ₁	3318.69893	723.607529
	X ₂	1058.20733	548.292080
Çıktı Değişkenleri	Y ₁	1430.49602	178.384363
	Y ₂	0	0
	Y ₃	38122.6278	26606.5615
	Y ₄	0	0

Etkin olmayan Erzincan ve Bingöl depremine ait girdi ve çıktı değişkenlerinde yapılacak artış veya azalış ile etkin sınıra ulaşılabilir. Bu durum karar vericiye alacağı tedbirler konusunda yol göstermektedir. Örneğin Erzincan depremi sonrasında kullanılan arama kurtarma personel sayısı gerçekte 3500 kişi olmasına rağmen bu çalışma 3318 kişi ile yürütülürse, sağlık personel sayısı 1350 kişiden 1058 kişiye düşürülür ve enkazdan çıkardıkları vefat eden insan sayısı 653 kişiden 1430 kişiye arttırılabilir ise etkin sınıra ulaşabilir.

Sonuç olarak, Erzincan depremi ve Bingöl depremleri için arama kurtarma personel sayısı, sağlık personel sayısı, hayatını kaybeden insan sayısı, hasarlı yapı sayısında yapılacak artış ve azalışlar etkin sınıra ulaşılabilir.

Tartışma ve Sonuçlar

Ülkemizde afet yönetim sistemi 2009 yılında AFAD (Afet ve Acil Durum Başkanlığı)'ın kurulmasına kadar olan süreçte belirli bir sistemi ve yönetim şekli olmayan, birden çok bakanlık, kurum ve kuruluşun ayrı ayrı görevlendirildiği, yaşanan afetlerden sonra anlık tedbirler alan bir sistem şeklindeydi. Afet yönetimi, afet öncesi, afet esnası ve afet sonrasında yapılan çalışmalar bütünüdür. Ülkemizin afetlerin verdiği zararları azaltamamasının nedeni, afetler meydana gelmeden önce yapılan çalışmaların seviyesinin düşük olması ve daha çok afetin meydana gelmesinden sonra geçici, tedbirler ile durumu geçiştirmesidir. Afetlerin verdikleri zararları en aza indirmenin yolu etkili bir afet yönetim sistemi performansına sahip olmaktır.

Son yıllarda daha çok sağlık sektörü ve eğitim kurumları gibi alanlarda performans ve etkinlik analizi için kullanılan yöntemler arasında yer alan VZA çözüm için geliştirilen paket programların sayısının artması ile sık olarak literatürde yer edinmeye başlamıştır. Fakat literatür incelendiğinde afet yönetim sistemi, afet, deprem konuları VZA ile birlikte çok sınırlı sayıda kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada ülkemizde yaşanan, maddi ve manevi kayıplara yol açan dört büyük deprem örneklem olarak ele alınmış, ülkemizin afet yönetim sistemi performansı CCR-VZA modeli ile girdi yönelimli olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme neticesinde örneklem olarak ele alınan Erzincan ve Bingöl depremlerine yapılan müdahalenin etkin bir afet yönetim sistemine sahip olmadan yapıldığı, Marmara ve Van depremlerinin ise etkin bir afet yönetim sistemine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Erzincan ve Bingöl depremleri için etkin sınıra ulaşmayı hedefleyen potansiyel iyileştirme hedefleri ve referans etkin referans kümeleri ortaya çıkarılmıştır. Marmara depremlerinin yapılan analiz neticesinde etkin afet yönetim sistemine sahip olması Türk Silahlı Kuvvetlerinin (TSK) bölgede görevlendirdiği 64.000 bin personelinin etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır.

Türk Silahlı Kuvvetleri arama kurtarma çalışmaları, yaralıların taşınması, barınma olanağı sağlaması ve aynı yardımlar sağlaması konusundaki desteği ile depremin yaralarının sarılması noktasında çok önemli bir görev üstlenmiştir. Bu bağlamda TSK deprem meydana geldikten kısa süre sonra çalışmalara başlamış ve 12.794'ü vefat etmiş, 27.852'si yaralı/sağ vatandaşımızı kurtarmış ve tahliye etmiştir (T.C. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi, 2000).

Ülkemiz 2011 yılında yaşanan Van depremlerinden önce yaşamış olduğumuz depremlerin sebep olduğu kayıplardan, arama kurtarma ve müdahale aşamasında karşılaşılan sorunlardan ders çıkarmış, bu konuda hazırlıklarını büyük ölçüde tamamlamıştır.

Bu bağlamda deprem öncesi yapılan çalışmaların da önemi anlaşılmış, deprem esnasında ve sonrasında yapılacak çalışmalar koordine edilmiş, bu yönde eğitim ve tatbikatlar yapılmaya başlanmıştır. Van depremlerine müdahale, arama kurtarma, iyileştirme çalışmaları Afet ve Acil Durum Başkanlığı koordinatörlüğünde ve sorumluluğunda gerçekleşmiştir. Marmara depremlerinde olduğu gibi özellikle arama kurtarma faaliyetlerinde yaşanan sistemsiz ve plansız çalışma Van depremlerine müdahale çalışmalarında görülmemiştir. Nitekim arama kurtarma ekiplerinin üstün gayreti ile enkazdan kurtarılan kişi oranı %28,1 olmuştur. Bu oran dünyada benzer özellikler taşıyan depremler incelendiğinde gerçek bir başarı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmamızda Afet yönetim sistemi etkinlik analizinin yapılması için VZA'nın seçilmesindeki en önemli etken, veriler temelinde girdi ve çıktılarının ortak bir şekilde ifade edilmediği durumlar/olaylar için etkinlik ölçümü yapılmasına olanak sağlaması ve etkin olmayan KVB'nin etkin hale getirilmesi için yapılması gerekenler hakkında bilgi vermesidir. Gelecek çalışmalarda ise karşılaştığımız veri elde etme problemine çözüm üretebilecek şekilde eksik verilerle çalışma imkânı sağlayan

Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) ve gri ilişkisel analiz yöntemi gibi ÇKKV yöntemleri kullanılabilir.

Kaynaklar

- Altun, F., (2018). Afetlerin Ekonomik ve Sosyal Etkileri: Türkiye Örneği Üzerinden Bir Değerlendirme, *Sosyal Çalışma Dergisi*, 2, 1, 1-14.
- Babacan, A. ve Özcan, S., (2009). Alanya Bölgesi Otellerinin Görelî Etkinliğinin Belirlenmesi: Bir Veri Zarflama Analizi Tekniği Uygulaması, *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6, 12,176-189.
- Bakırcı, F. ve Babacan, A., (2010). İktisadi ve idari bilimler fakültelerinde ekonomik etkinlik. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24, 2, 215-234.
- Bal, V. ve Bilge, H., (2013). Eğitim ve Araştırma Hastanelerinde Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2, 6, 1-14.
- Banker, R. D., Charnes, A. ve Cooper, W.W., (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30, 9, 1078-1092.
- Banker, R. D. ve Thrall, R. M., (1992). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 62, 1, 74-84.
- Baysal, M. E. ve Toklu, B., (2001). Veri zarflama analizi ile bazı orta öğretim kurumlarının performanslarının değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6, 2,203-220.
- Charnes, A., Cooper, W. W. ve Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units, *European journal of operational research*, 2, 6, 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. W. ve Rhodes, E., (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management science*, 27, 6, 668-697.
- Cingi, S. ve Tarım, A. (2000). Türk banka sisteminde performans ölçümü Dea-Malmquist Tfp endeksi uygulaması. *Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliği Serisi*, 1, 1-34.
- Delavar, M., Moradi, M. ve Moshiri, B., (2015). Earthquake vulnerability assessment for hospital buildings using a GIS-based group multi criteria decision making approach: a case study of

- Tehran, Iran, *Proceedings, International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry*, 153-157, Kish Island.
- Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 253-290.
- Gürler, H., (2015). Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinlik Tahmini: Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Birlikte Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Huang, J., Liu, Y. ve Ma, L., (2011). Assessment of regional vulnerability to natural hazards in China using a DEA model. *International journal of disaster risk science*, 2, 2, 41-48.
- Irmak, D. E., (2014). Sivas İlindeki Devlet Hastanelerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Etkinliğinin Belirlenmesi.: *Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas*.
- Kadioğlu, M., (2008). Modern, Bütünleşik Afet Yönetiminin Temel İlkeleri; Kadioğlu, M. ve Özdamar, E., eds (2006). *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri*, 1-34, JICA Türkiye Ofisi Yayınları (2), Ankara.
- Kıyıldı, R. K. ve Karşahin, M., (2006). Türkiye'deki Hava Alanlarının Veri Zarflama Analizi İle Altyapı Performansının Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10,3,391-397.
- Korkmaz, K. A. (2010). Integrated seismic hazard evaluation and disaster management approach for Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 61, 3, 467-476.
- Kutlar, A. ve Kartal, M., (2004). Cumhuriyet üniversitesinin verimlilik analizi: Fakülteler düzeyinde veri zarflama yöntemiyle bir uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8, 49-79.
- Mecit, E. D., (2005). Veri Zarflama Analizinde Süper Etkinlik ve Bir Uygulama, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Özden, Ü. H. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37, 2, 167-185.
- Pan, Y. M. ve Li, Q. W., (2010). Evaluation of emergency management performance based on data envelopment analysis model: A Case of three catastrophic earthquakes in China, *Proceedings, International Conference on Emergency Management and Management Sciences*, 91-94, Beijing.
- Panahi, M., Rezaie, F. ve Meshkani, S., (2014). Seismic vulnerability assessment of school buildings in Tehran city based on AHP and GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 4, 969-979.
- Peker, İ. ve Birdoğan, B., (2009). Veri zarflama analizi ile Türkiye havalimanlarında bir etkinlik ölçümü uygulaması, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18, 2, 72-78.
- Rouyendegh, B. D. ve Erkan, T. E., (2010). Ankara'da Bulunan 4 Yıldızlı Otellerin, Vza-Ahs Sirali Hibrit Yöntemiyle Etkinlik Değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12, 3, 69-90.
- T.C. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi, (2000). *Depremler 1999 17 Ağustos ve 12 Kasım Depremlerinden Sonra Bakanlıklar ve Kamu Kuruluşlarının Yapılan Çalışmalar*, T.C. Başbakanlık, Ankara
- Türker, T., (2012). Üniversitelerde Bölümlerin Performanslarının Değerlendirilmesinde Bulanık Dematel ve Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemlerinin Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.
- Üstün, A. K. ve Barbarosoğlu, G., (2015). Performance evaluation of Turkish disaster relief management system in 1999 earthquakes using data envelopment analysis. *Natural hazards*, 75, 2, 1977-1996.
- Üstün, A. K., (2016). Evaluating İstanbul's disaster resilience capacity by data envelopment analysis. *Natural hazards*, 80, 3, 1603-1623.
- Wei, Y.M., Fan, Y., Lu, C. ve Tsai, H.T., (2004). The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method. *Environmental Impact Assessment Review*, 24, 4, 427-439.
- Yazıcı, Ö. ve Ulu Kalın, Ö., (2018). "Doğal Afet" için Kavramsal Metaforların Karşılaştırmalı Analizi. *E-Kafkas Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 5, 1, 25-40.
- Yılmaz, A., (2003). *Türk kamu yönetiminin sorun alanlarından biri olarak afet yönetimi*., 2, 15, 35, Pegem A Yayıncılık, Ankara.
- Zou, L. L. ve Wei, Y.M., (2009). Impact assessment using DEA of coastal hazards on social-economy in Southeast Asia. *Natural hazards*, 48, 2, 167-189.

Performance evaluation of disaster management system for earthquake that may occur with data envelopment analysis in Turkey

Extended abstract

Natural and human disasters have become riskier and harmful for people as a result of increase in population density together with technological and industrial developments. This leads people to be more vulnerable to disasters and, consequently, to set up disaster management systems to prevent and mitigate potential disasters. With an effective disaster planning prepared, necessary precautions can be taken before the earthquake and all units can intervene by keeping the turmoil and complexity at a minimum level during and after the earthquake. Our country is among the countries with high earthquake risk due to the geography on which it is located.

In this study, four major earthquakes will be dealt with in the near future. These earthquakes (in chronological order) are 13 March 1992 Erzincan Earthquake, 17 August/ 12 November 1999 Marmara Earthquakes, 01 May 2003 Bingöl Earthquake, 23 October / 9 November 2011 Van Earthquakes.

The aim of this study, to evaluate the Disaster Management System with DEA, which is one of the MCDA methods, for earthquakes that may occur in Turkey. The number of disasters on the world continues to increase consistently compared to the old times. The ecological equilibrium deterioration that accompanies global warming and technological developments brings with many natural phenomena. Earthquakes, tornadoes, tsunamis living behind each other adversely affect the increasing world population. According to the researches of the scientists, these disasters will continue to increase in the coming period.

Great catastrophes that have been experienced all over the world, indicate the importance of disaster management. Especially the 1999 Marmara Earthquake, which we experienced in our country and had many losses, has caused material and spiritual wounds in every part of society.

After the Marmara Earthquake, our country understood the importance of disaster plans better. In this way, started to work to use the Disaster

Management System more effectively. In our study, we use Data Envelopment Analysis which is a Multi-Criteria Decision-Making method to analyze the effectiveness of the four major earthquakes in our country.

In the light of the analysis, Marmara earthquakes found as an effective disaster management system. We associate this with the activities of the Turkish Armed Forces during the earthquake, such as carrying out search and rescue operations with 64 thousand personnel, transporting the wounded, ensuring the usual marriage and providing the same benefits. Because the Turkish Armed Forces started working shortly after the earthquake hit the scene. As a result of the work, 12794 dead and 27852 injured citizens were saved from debris.

As in the Marmara earthquakes, the systemless and unplanned work experienced in search and rescue operations has not been observed in the intervention of Van earthquakes. As a matter of fact, the percentage of people who recovered from the wreckage was 28.1% with the help of search and rescue teams. When this earthquake with similar characteristics is examined in the world, it comes out as a real success. We have determined that this method of data envelopment analysis can be used to measure disaster management system performance.

In the future studies, it is possible to use multi-criteria decision-making methods such as Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and gray relational analysis method which can work with incomplete data so as to produce a solution to the problem of data acquisition.

Keywords: *Multi-Criteria Decision Making, Data Envelopment Analysis, Disaster Management System, Earthquake, Performance Analysis*



Farklı Kür Koşullarının Reaktif Pudra Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Mehrzad MOHABBİ YADOLLAHI

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
mmohabbi@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0001-8584-1658

Sadık VAROLGÜNEŞ*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
svarolgunes@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0001-9580-9889, Tel: (426) 216 00 12 (1969)

Geliş: 08.03.2019, Revizyon: 24.05.2019, Kabul Tarihi: 05.09.2019

Öz

Bu çalışmada reaktif pudra betonlarında (RPB) otoklav yöntemine alternatif olarak sıcak suyla kür yönteminin geliştirilmesi ve bu kür yönteminin RPB betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu nedenle çalışmamızda otoklav ile birlikte farklı sıcaklıklarda yani 50, 70, 90 °C derece sıcaklıklarda su kürü de uygulanmıştır. 90°C sıcaklıkta su ile kürü yapılan lifli ve liffsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırası ile 153.18 ve 134.01 MPa olmuştur. Bu değerler otoklav kürü koşullarında elde edilen basınç mukavemetleri ile kıyaslanırlarsa oranları sırası ile 0.917 ve 0.912 olmuştur. Oranın bu kadar yüksek olması ve kür aşamasındaki maliyeti düşürdüğü de göz önünde bulundurulursa yüksek sıcaklıktaki su kürü yönteminin, otoklav kür yöntemine alternatif olarak kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: RPB, basınç mukavemeti, sürdürülebilir beton;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Beton dünyada insanoğlunun en çok ürettiği ve kullandığı yapay üründür. Günümüzde beton araştırmalarında en önemli ve güncel konuların başında betonun basınç mukavemeti, işlenebilirliği, dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği üzerindeki çalışmalar gelmektedir. Bir yapı mühendisi açısından betonun basınç mukavemetinin yüksek olmasının avantajları çoktur. Yüksek mukavemetli betonların kullanımı yapısal elemanların kesitlerinin küçülmesine, kesitlerin küçülmesi de binanın hafiflemesine ve bu durum da yapının ağırlığından kaynaklanan düşey yüklerin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca bina hafifledikçe binanın ağırlığı ile doğru orantılı olarak deprem yükü ve binanın yanal yükleri de azalmış olacaktır.

Diğer taraftan kesitlerin küçülmesi ile daha az beton kullanılması, çimento kullanımını da azaltacak ve maliyetlerde tasarruf sağlanacaktır. Biliyoruz ki dünyada sera gazlarının en zararlısı karbon dioksit gazıdır ve CO₂ gazının meydana gelmesi konusunda en fazla suçlanan sanayi tesisleri çimento fabrikalarıdır. Az çimentolu beton tasarımlarının kullanımı ile çevre dostu bir tasarım yapmamız da mümkün olacaktır.

Su/çimento oranının az olması genel olarak betonda yüksek mukavemet demektir. Eğer beton işlenebilir olursa daha az su kullanmamız da tasarımlarda mümkün olacaktır ve bu durum da doğrudan betonumuzun basınç mukavemetini artıracaktır.

Günümüz tasarımlarında basınç mukavemetinin artması için puzolanik katkı malzemesi de kullanılmaktadır. Puzolanik malzemeler betonun basınç mukavemeti ile birlikte dayanıklılığını da olumlu yönde etkilemektedir. Puzolanik malzemelerden silis dumanı, mukavemeti artırmak için daha fazla tercih edilmektedir. Silis dumanının kullanımı ile birlikte su ihtiyacı artmaktadır ve bu yüzden süper akışkanlaştırıcıların kullanımı da zorunlu olacaktır. Çünkü su miktarı artırıldığında su/çimento oranı da artacaktır ve bu istenmeyen bir durumdur. Bunun yerine işlenebilirliği

artırmakta daha etkili olan polikarboksilik esaslı akışkanlaştırıcı malzemeler tercih edilmektedir.

Reaktif pudra beton (RPB)

Daha yüksek mukavemetli ve üstün mekanik özelliğe sahip beton üretebilmek için yıllardır birçok araştırmacı çaba göstermektedir. İlk kez 1970'lerde Yudenfreund tarafından vakumlu bir ortamda 230 MPa dayanıma sahip beton üretilmiştir (Yudenfreund, Odler et al. 1972).

Bu çalışmanın ardından Roy ve arkadaşları tarafından; 50 MPa basınç ve 250°C sıcaklıktaki kür şartlarında 510 MPa dayanıma sahip beton üretilmiştir (Roy, Gouda et al. 1972).

1981 yılında ise Bache DSP (densified small particle) olarak adlandırdığı malzeme yardımıyla 250 MPa dayanımında numuneler elde etmiştir (Bache 1981). Üretilen betonların mukavemetleri yüksek olsa bile üretim şartları kolay olmadığından bu betonların üretilmesi normal şartlarda mühendisler için pek kullanışlı olmamıştır.

Ultra yüksek mukavemetli betonlar ise 1995 yılında Richard ve Cheyrezy tarafından üretilmiştir (Richard and Cheyrezy 1995). Bu betonlar daha sünek ve geçirimsiz olmalarının yanında daha iyi mekanik özelliklere de sahiptirler. Bu betonların üretiminde çimento, çok ince taneli silis dumanı ve kuvars kumu yanında çelik lifler de kullanılmaktadır. Çelik liflerin kullanımından dolayı yüksek enerji yutma potansiyeline sahip olan bu betonlar patlamaya maruz kalan veya darbe etkisinde olan yerlerde kullanılmışlardır (Cheyrezy, Maret et al. 1995, Roux, Andrade et al. 1996, Bonneau, Lachemi et al. 1997).

160 MPa üzerindeki basınç mukavemetine sahip olan reaktif pudra betonlarında boşluk oranı çok düşüktür. İri taneler yerine ince taneli homojen kuvars tozu kullanılması RPB'lerin homojen yapıda olmasını ve malzeme kusurlarının azalmasını sağlamaktadır. RPB'de kullanılan çimento dozajı ise geleneksel betonlara kıyasla yüksektir. Reaktif pudra betonlarının üretimi şu şekilde açıklanabilir; Bu betonlarda ince ve iri

agrega yerine kuvars kumu, kuvars tozu, yüksek dozajda çimento ve çimentonun ağırlıkça %25'ine kadar silis dumanı ikamesi kullanılır. Özellikle eğilme mukavemetinde önemli etkisi olan lifler bu betonlarda hacimsel olarak yaklaşık olarak %2 civarında kullanılmaktadır. Bu tür betonlarda su/bağlayıcı oranı çok düşük olduğundan yeni nesil süper akışkanlaştırıcılara ihtiyaç duyulmaktadır ve C₃A oranı düşük olan çimento türlerinin kullanımı tercih edilmektedir. RPB üretimi için genellikle katkısız Portland çimentosu yani Tip I ile 42.5 MPa veya 52.5 MPa basınç dayanıma sahip çimentolar tercih edilmektedir.

Mikron boyutundaki taneleri bir arada tutacak, bağlayıcı pastadaki boşlukları dolduracak ve en önemlisi çimento hidratasyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek puzolanik reaksiyonlar oluşturacak ve böylelikle matriste ve beton dayanımına katkı sağlayacak bir puzolan malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu puzolanik reaksiyonları gerçekleştirmek için silis dumanı en tanınmış ve ideal bir puzolanik malzemedir. Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan sönmüş kireç silis dumanı ile reaksiyona girmektedir. Bu kimyasal reaksiyon sonucu C-S-H jelleri oluşmaktadır. Silis dumanının bu etkisinden daha önemli olan, bu tanelerin filler etkisi (dolgu) göstermesidir. Kalsiyum hidroksit silis dumanı ile reaksiyona girip bu boşlukları iyi bir şekilde doldurur. Silis dumanı agrega taneciklerinin arasında bulunan mikro düzeydeki boşlukları bile doldurarak daha kesif ve daha yüksek mukavemetli bir matris oluşturur. Silis dumanı, agrega ve çimento arasındaki boşlukları azaltarak daha homojen ve daha sıkı bir mikro yapının oluşmasını sağlar. Boşlukların dolması dayanıklılığın artması anlamına gelmektedir. Ne kadar pahalı olsa da yüksek mukavemet,

dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi özellikleri nedeniyle tercih edilebilen bir beton türüdür. RPB'lerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları:

1. Normal betonlara göre çok yüksek çekme mukavemetine sahiptir ve her zaman çelikle mukayese edilmektedir
2. Çok ince taneler yardımı ile üretildiği için geçirimsizdir. Su ve gaz sızmalarına imkân vermemesinden ötürü bu betonlara yalıtım gerekmez.
3. Kesitlerin küçültülmesinden dolayı yapıya gelen ölü yükler azalmaktadır. Aynı zamanda bu betonların kayma mukavemeti de yüksektir.
4. Enerji yutmaları çok yüksek olduğundan deprem ve darbe durumunda avantajlı bir beton türüdür.

Bu avantajların yanında dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kullanılan taneler normal beton agregasına göre daha pahalı olduğundan dolayı maliyeti daha yüksektir.
2. Tanelerin optimize edilmesi maliyeti arttırmaktadır.
3. Bu beton türünün kullanımı yeni olduğundan uzun süreli özellikleri ve davranışları bilinmemektedir.
4. Resmi bir yönetmelik veya karışım oranlarına ilişkin bir standardı bulunmamaktadır.

İlk olarak donatısız RPB kullanılarak inşa edilen yapı Kanada'nın Quebec eyaletinde bulunan Sherbrooke köprüsüdür ve bu köprüde kullanılan RPB betonunun karışım hesabı Çizelge 1 de verilmiştir (Blais and Couture 1999).

Çizelge 1. Sherbrooke köprüsünde kullanılan 1 m³ RPB için karışım hesabı

İÇİNDEKİLER	ÇİMENTO	SİLİS DUMANI	ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS	SİLİS ESASLI KUM	ÇELİK FİBER	SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI	SU
MİKTAR (KG)	710	230	210	1010	190	19 LİTRE	200

Farklı dayanımda betonlar kullanıldığında kesit alanı ihtiyacının değiştiği bilinen bir gerçektir.

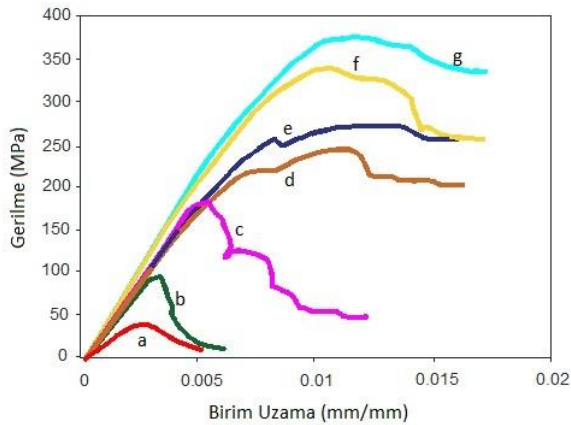
675 KN.m momenti taşıyacak farklı kesitler Şekil 1'de gösterilmektedir. Ağırlık bakımından

RPB kesitine en yakın kesit çeliktir. Üretim maliyetleri açısından RPB'lerin daha avantajlı olduğu bu şekilden bilinmektedir.

ŞEMATİK KESİT (DONATILAR GÖSTERİLMEMİŞ)				
Kiriş Tipi	X KESİTLİ RPB BETON	GENİŞ BAŞLIKLII KESİTLİ ÇELİK	ÖN GERİLMİŞ BETON KESİTİ	NORMAL BETONARME KESİTİ
KESİT YÜKSEKLİĞİ	360MM	360MM	700MM	700MM
AĞIRLIK	130KG/M	110KG/M	470KG/M	530KG/M

Şekil 1. 675 KN.m moment taşıyabilecek farklı kesitler

RPB'lerin davranışları, kullanılan lif ile doğrudan bağlantılıdır. Bu betonlarda da normal beton gibi sargı etkisi betonların davranışların ve sünekliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Betonlar çelik bir kalıpta basınç deneylerine maruz kaldıklarında mukavemetleri aşırı derecede artış gösterir. Sherbrooke projesinde RPB betonlar 2 mm kalınlığındaki boruların içinde üretilmiştir. RPB seçimi için Sherbrooke köprüsünde farklı RPB betonları üzerinde yapılan σ - ϵ eğrileri için deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil üzerinden görüldüğü gibi lifli ve sargı etkisinde olan RPB betonunun davranışı daha sünektir ve basınç mukavemeti de daha yüksek bir seviyededir. Bu köprü projesinde RPB ile doldurulmuş diyagonal elemanlar paslanmaz çelik borulardır.



Şekil 2. Betonların σ - ϵ davranışları a) normal beton b) yüksek performanslı beton c) lifli RPB d) lifsiz ama boru ile sargılanmış RPB e) lifli ve boru ile sargılanmış RPB f) lifsiz boru ile sargılanmış basınç altında olan RPB g) lifli boru ile sargılanmış basınç altında olan RPB.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında çimento, kuvars kumu, kuvars tozu, silis dumanı, çelik lif, su ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Çimento

Bu çalışma kapsamında Çimento Tipi I – 52.5 MPa çimento malzemesi kullanılmıştır ve çimento malzemesinin tane çapı 43 μ m'den küçüktür.

Kuvars Kumu

Bu çalışma kapsamında kullanılan kuvars kumunun maksimum tane çapı 300 μ m'dir.

Kuvars Tozu

Bu çalışma kapsamında kullanılan kuvars tozunun çapı 10 μ m'dir. Geleneksel betonlarda tanelerin birbirine değmesi sonucunda hamur kısmında meydana gelen boşluklar artış göstermektedir ve tane çaplarının düşürülmesi ile bu boşluklar azalacaktır. Bunun sonucunda betonun porozitesi düşecek ve mukavemeti artacaktır (Dallaire, Aitcin et al. 1998).

Silis Dumanı

Bu çalışmada kullanılan silis dumanının en büyük tane çapı 0,15 μ m'dir. Silis dumanı çimento taneleri arasındaki boşluklarda filler etkisi göstererek hidrasyon sonucu oluşan Ca(OH)₂ ile yeniden reaksiyona girerek yeni C-S-H jelleri oluşturur. RPB üretiminde kullanılan

silis dumanının oranı %20 -30 arasındadır (Chan and Chu 2004).

Karışım Suyu

Bu çalışmada kullanılan karışım suyu içilebilir nitelikte olan şehir şebeke suyudur.

Çelik Lifler

Bu çalışmada hacimce %2 oranda çelik lif kullanılmıştır. Bu lifler 13 mm boyunda ve 0,15 mm çapındadır. Çekme dayanımı 1050 MPa olup özgül ağırlığı 7.85'dir.

Reaktif Pudra Betonun Karışım ve Kürü

Kür işlemi, RPB kalıba yerleştirildikten hemen sonra uygulanmıştır. Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde sıcaklık kürü uygulanan yöntemlerden biridir. Hidratasyon sırasında malzemelerin kristalleşmesi ve silis içerikli filler malzemelerin pozolanik reaksiyonuna başlamasında kür sıcaklığının önemi büyüktür. Beton dayanımlarının iyileştirilmesinde sıcaklık uygulaması yararlı olmaktadır (Feylessoufi, Crespın et al. 1997). Yüksek basınçlı buhar kürü (otoklav) ile 28 günlük standart kür dayanıma 24 saatte

erişilebilmektedir (Karabulut 2006). Kür süresinin basınç dayanımını artırdığı ve sonrasında düşüş gösterdiği ayrıca 14 saat otoklav kürü ile maksimum basınç dayanımlarının elde edildiği belirtilmiştir. Bunun yanında, Uygunoğlu ve Ünal 2007 yılındaki otoklav kürü çalışmalarında, en uygun otoklav kür süresinin 8 saat olduğunu, otoklavda 8 saatten fazla kalan numunelerde basınç mukavemeti kaybı görüldüğünü belirtmişlerdir (Uygunoğlu and Ünal 2007). Bu nedenle otoklav kür süreleri 4, 8 ve 12 saat olmak üzere 3 farklı tipte belirlenmiştir. Otoklav yöntemi zor ve pahalı olduğundan şantiye için uygun değildir. Bu çalışmanın asıl amacı RPB betonlarının kürü için daha ucuz ve daha basit bir alternatif yöntem bulmaktır. Bu nedenle çalışma sonucunda otoklav ile birlikte farklı sıcaklıklarda (50°C, 70°C ve 90°C) su içinde kür yapılacaktır ve sonuçlar mukayese edilecektir.

Karışım Hesabı

Bu çalışmadaki karışım hesabı Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Lifli ve lifsiz RPB betonunun Karışım hesabı (kg).

MALZEME	ÇİMENTO	SİLİS DUMANI	KUVARS KUMU	KUVARS TOZU	SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI	ÇELİK LİF	SU	SU/ÇİMENTO
LİFLİ	750	187.50	894.00	158.00	35.00	157	201.00	0.268
LİFSİZ	765	183.82	911.18	161.16	35.00	-	205.02	0.268

Homojen dağılımın sağlanması için öncelikle kuru (katı) malzemeler karıştırıcıya dökülerek 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyunun ve süper akışkanlaştırıcının yarısı ilave edilip 4 dakika karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından su ve süper akışkanlaştırıcının kalan kısmı ilave edilip 4 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra çelik lif ilave edilmiş ve 2 dakikalık süre için karıştırma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen taze haldeki RPB yağlanan kalıplara doldurulmuştur. 24 saatlik süre sonunda oda koşullarında sertleşen RPB numuneleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra bir kısmı yüksek basınçlı kür için otoklava konulmuştur. 4, 8 ve 12 saat sonunda otoklavdan çıkarılan numuneler 28 gün boyunca 25°C

sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir. Bu işlemlere maruz kalmayan diğer numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 3 gün boyunca farklı sıcaklıklardaki (50°C, 70°C, 90°C) su içerisinde kür edildikten sonra 25°C sıcaklıkta 7 ve 28 gün boyunca bekletilmiş ve basınç ve eğilme mukavemeti deneylerine tabi tutulmuştur. Otoklav kür yönteminin amacı RPB'nin erken dönemde mukavemet kazanmasını sağlamaktır. Yüksek sıcaklıklar RPB'nin mukavemetindeki gelişim için gerekli kimyasal reaksiyonları hızlandırır. Bu çalışmada uygulanan otoklav küründe sıcaklık 200°C-212°C aralığındadır ve uygulanan basınç ise 20 atm'dir.

Deneylerin gerçekleştirilmesi için Ghavi Saze Azarabadegan firmasının yapı malzemesi laboratuvarında bulunan otoklav kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan otoklav çalışmaya başladıktan 1 saat sonra 1 MPa basınç (10atm),

2 saat sonra ise 2 MPa basınç (20 atm) değerine ulaşmıştır. Numuneler otoklavda 1-2 MPa basınç altında dengeye geldikten sonra, belirlenen süreye kadar (bu çalışmada 4, 8 ve 12 saat) sabit basınç altında tutulmuştur.

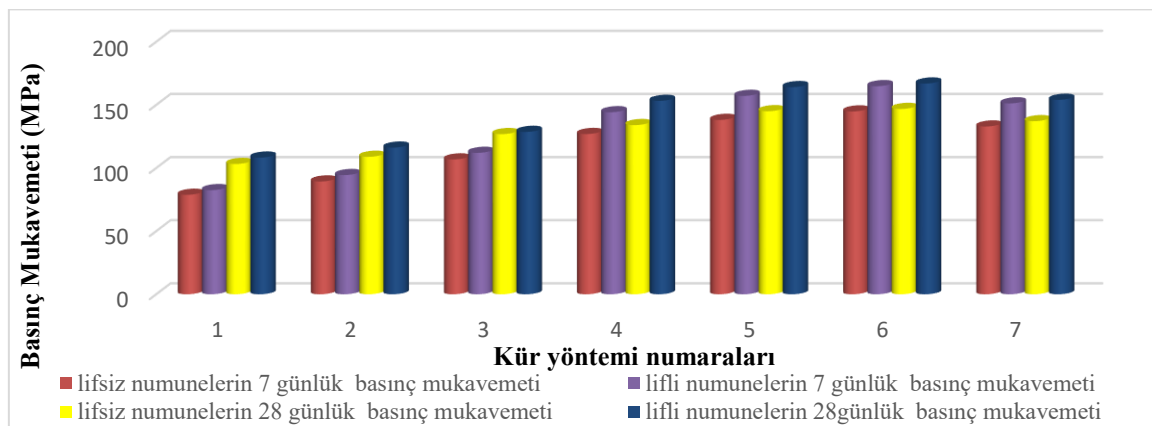
Sonuçlar ve Tartışma

Lifli ve lifsiz karışım betonlarının 7 ve 28 günlük basınç ve 28 günlük eğilme mukavemetleri

Çizelge 4 ile Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir.

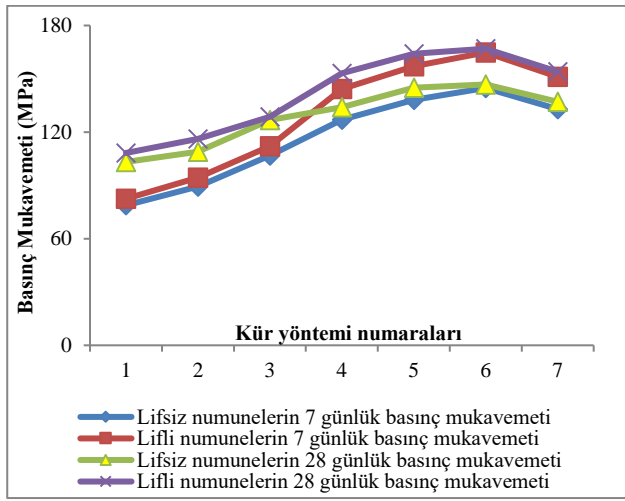
Çizelge 4. Farklı kür şartlarında 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme mukavemetleri

Kür	Lif Durumu	Kür Şartı	7 Günlük Basınç Mukavemeti	28 Günlük Basınç Mukavemeti	7 Günlük Eğilme Mukavemeti	28 Günlük Eğilme Mukavemeti	28 Günlük Eğilme/Basınç Mukavemeti (%)
1	Lifsiz	27 gün 25 derece su kürü	78.80	103.20	6.74	8.6	8.33
	Lifli		82.48	108.26	10.91	14.07	12.99
2	Lifsiz	3 gün 50 derece +24 gün 25 derece su kürü	89.34	108.89	6.82	8.85	8.12
	Lifli		94.42	116.17	12.20	15.08	12.98
3	Lifsiz	3 gün 70 derece +24 gün 25 derece su kürü	106.81	126.87	9.38	11.01	8.67
	Lifli		112.02	128.62	15.61	18.77	14.59
4	Lifsiz	3 gün 90 derece +24 gün 25 derece su	126.93	134.01	10.62	11.85	8.8
	Lifli		144.20	153.18	20.92	21.22	13.85
5	Lifsiz	4saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	138,12	145,01	13,19	13,34	9,19
	Lifli		157.15	164,09	22.41	23.20	14.13
6	Lifsiz	8saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	144.82	146.81	13.58	14.43	9.82
	Lifli		164.83	166.94	24.86	25.60	15.3
7	Lifsiz	12saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	132.9	137.12	11.58	12.61	7.64
	Lifli		151.21	154.03	21.3	22.9	14.80



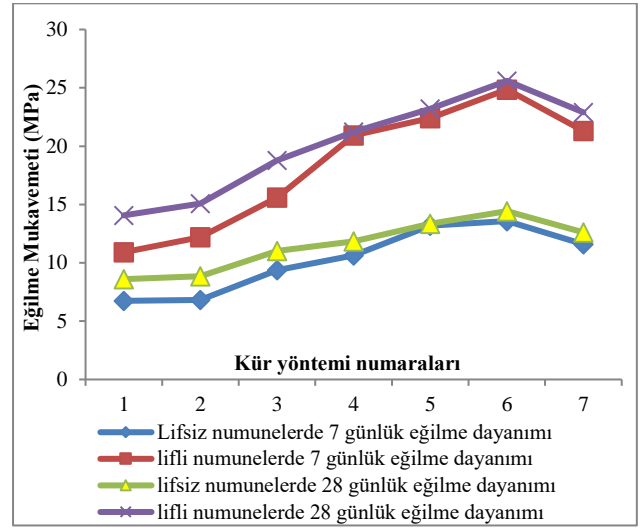
Şekil 4. Lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri

Şekil 5'te de görüldüğü üzere, 7 kür yönteminde de otoklav kür yöntemi en iyi sonuçları vermektedir. Otoklav numuneleri içerisinde ise en iyi dayanım 6 numaralı kür koşulunda elde edilmiştir. Altıncı kür yönteminin 7 ve 28 günlük lifli ve lifsiz numuneler için en iyi kür yöntemi olduğu Şekil 4 ve Şekil 5'te net bir şekilde görülmektedir. Otoklavda bekletme süresi, 8 saatten 12 saate çıkarıldığında numunelerin basınç mukavemeti olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu nedenle otoklavda optimum bekletme süresinin 8 saat olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5. RPB numunelerin kür şartlarına göre 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri

28 inci günün sonunda en yüksek basınç mukavemeti lifli ve lifsiz numuneler için sırasıyla 166.94 MPa ve 146.81 MPa olmuştur. Otoklav kür işlemi uygulanmayan numunelerde bu sonuçlara en yakın olan kür şartı 90°C derecedeki kürdür. Bu kür sıcaklığında lifli ve lifsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırasıyla 153.18 MPa ve 134.01 MPa olmuştur. 90°C sıcaklıkta elde edilen basınç mukavemetinin lifsiz ve lifli betonlar için en iyi otoklav kür koşuluna göre dayanım oranları sırasıyla 0.917 ve 0.912 olmuştur. Otoklav kür işleminin yalnızca laboratuvar ve prefabrik yapılarda kullanıldığı göz önüne alındığında otoklavın kullanılmadığı kür koşullarında üretilen RPB numunelerinin dayanımının yüksek olması ve maliyetinin daha az olması, bu kür yönteminin otoklav kürü yöntemine iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri

Şekil 6, lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda elde edilen eğilme mukavemetlerini göstermektedir. Lifli numunelerin eğilme dayanımları 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda lifsiz numunelerden daha fazladır. En iyi kür şartı olan altı numaralı kür koşulunda lifli numunelerin lifsiz numunelere göre eğilme mukavemetinde %77 artış gösterdiği görülmektedir. Aynı kür koşulunda aynı numunenin basınç mukavemetindeki artış %13.7'dir. Bu sonuç liflerin eğilme dayanımı üzerindeki katkısının basınç dayanımına kıyasla çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı kür şartlarının RPB'nin basınç ve eğilme mukavemetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Özet olarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. 28 inci günün sonunda en yüksek basınç mukavemeti lifli ve lifsiz numuneler için sırasıyla 166.94 MPa ve 146.81 MPa'dır.
2. 90°C sıcaklığındaki suyun kür yönteminde lifli ve lifsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırası ile 153.18 MPa ve 134.01 MPa olmuştur. Otoklav kür koşullarında elde edilen basınç mukavemetlerine oranları ise sırası ile 0.917 ve 0.912 olmuştur. Oranın bu kadar yüksek olması ve düşük maliyeti göz önüne alındığında, yüksek sıcaklıktaki su ile kür

yönteminin otoklav kür yöntemine alternatif olarak kullanılabilmesi anlaşılmaktadır.

3. 90°C su sıcaklığındaki kür yöntemi yardımıyla her yerde ve daha ucuz maliyetlerle RPB beton üretimi mümkün olmaktadır ve hızlı mukavemet özelliğinden dolayı bu yöntem ile üretilen RPB'lerin onarım işlerinde de kullanımı mümkündür.
4. Çelik liflerin hem basınç ve hem de eğilme mukavemetine olumlu etkisi görülmüştür. En iyi kür koşulunda lifli numunelerin liffsiz numunelere göre eğilme mukavemetinde 77% artış meydana gelmiştir.

Buhar basıncı altında artan basınç mukavemeti muhtemelen puzolanik reaksiyon ve çimento hidrasyonu etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, uzatılmış otoklav kürü süresi gücün düşmesine neden olabilir. Optimum sıkıştırma kuvveti, kalsiyum silikatların ve puzolanik aktivitenin hidrasyonunu oluşturmak için daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa kür süresinde elde edilebilir (Kearsley and Booyens 1998). Daha uzun küre maruz kalmanın, buhar basıncının aşırı kristaline kalsiyum silikat oluşumuna neden olduğuna inanılmaktadır. Bu durum dayanımın düşmesine neden olmaktadır (Ekaputri, Triwulan et al. 2013).

90 derecelik kür sonucunda otoklav kürüne yakın sonuçlar çıkmasının sebeplerinin neler olabileceğine gelince;

RPB betonlarında puzolanların aktivasyonu ve hidrasyonun gerçekleşmesi için 8 saatlik otoklav yerine 3 günlük sıcak su kürü yeterli olmuştur ve bunu farklı yayınlarda da görebiliriz (Meraji, Afshin et al. 2012, Bakış 2015).

Kaynaklar

- Bache, H. H. (1981). Densified cement/ultra-fine particle-based materials, Aalborg Portland Aalborg, Denmark.
- Bakış, A. (2015). "Rijit yol üstü yapı inşasında reaktif pudra betonun (RPB) kullanılabilirliğinin araştırılması." Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Blais, P. Y. and M. Couture (1999). "Precast, prestressed pedestrian bridge-world's first reactive powder concrete structure." PCI journal **44**: 60-71.

- Bonneau, O., M. Lachemi, E. Dallaire, J. Dugat and P.-C. Aitcin (1997). "Mechanical properties and durability of two industrial reactive powder concretes." Materials Journal **94**(4): 286-290.
- Chan, Y.-W. and S.-H. Chu (2004). "Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete." Cement and Concrete Research **34**(7): 1167-1172.
- Cheyrezy, M., V. Maret and L. Frouin (1995). "Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete)." Cement and Concrete Research **25**(7): 1491-1500.
- Dallaire, E., P.-C. Aitcin and M. Lachemi (1998). "High-performance powder." Civil Engineering **68**(1): 48.
- Ekaputri, J. J., D. B. Triwulan and F. R. S. Nasir (2013). Optimization of pressure and curing time in producing autoclaved aerated concrete. Proceeding the 6th Civil Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future through Sustainability.
- Feylessoufi, A., M. Crespın, P. Dion, F. Bergaya, H. Van Damme and P. Richard (1997). "Controlled rate thermal treatment of reactive powder concretes." Advanced cement based materials **6**(1): 21-27.
- Karabulut, A. Ş. (2006). Reaktif Pudra Betonunun Özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi
- Kearsley, E. and P. Booyens (1998). "Reinforced foamed concrete-can it be durable?" Concrete Beton(91).
- Meraji, L., H. Afshin and K. Abedi (2012). "Investigation into the Possibility of Reactive Powder Concrete Production Using Available Materials in Iran."
- Richard, P. and M. Cheyrezy (1995). "Composition of reactive powder concretes." Cement and concrete research **25**(7): 1501-1511.
- Roux, N., C. Andrade and M. Sanjuan (1996). "Experimental study of durability of reactive powder concretes." Journal of Materials in Civil Engineering **8**(1): 1-6.
- Roy, D. M., G. Gouda and A. Bobrowsky (1972). "Very high strength cement pastes prepared by hot pressing and other high pressure techniques." Cement and Concrete Research **2**(3): 349-366.
- Uygunoğlu, T. and O. Ünal (2007). "Buhar Kürü Uygulanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri." Politeknik Dergisi **10**(1).
- Yudenfreund, M., I. Odler and S. Brunauer (1972). "Hardened portland cement pastes of low porosity I. Materials and experimental methods." Cement and Concrete Research **2**(3): 313-330.

The Effect of Different Current Conditions on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete

Extended abstract

The use of high-strength concretes minimizes the cross-section of the structural elements, the reduction of the cross-sections causes the building to become lighter, and this leads to a reduction in the vertical loads due to the weight of the structure. In addition, as the building gets lighter, the earthquake loads that are directly proportional to the weight of the building and consequently the lateral loads of the building will be reduced.

On the other hand, the use of less concrete will reduce cement use and save costs. It is known that the most harmful of greenhouse gases is carbon dioxide gas. In terms of CO₂ gas emissions, the most accused industrial plants are cement factories. Thanks to the use of less cemented concrete designs, it will be possible to design an environmentally friendly design.

Production of reactive powder concretes can be explained as follows:

In these concretes, up to 25% by weight of silica fume is added to the mixture of quartz sand, quartz powder, high dosage cement instead of fine and coarse grained aggregate. Fibers with significant effect on bending strength are used in these concretes approximately 2% by volume. As the water / binder ratio is very low in such concretes, new generation superplasticizers are needed and the use of cement types with low C₃A ratio is preferred.

Temperature curing is one of the methods for improving the mechanical properties of concrete. Crystallization of the materials during hydration and the curing temperature are important for starting the pozzolanic reaction of the silica-containing filler materials.

In this study, the development of warm water curing method and the effect of this curing method on the mechanical properties of Reactive powder concrete (RPC) has been investigated. For this reason, in our study, water cure was applied at different temperatures, i.e. 50, 70, 90 ° C and autoclave curing method for comparison.

The compressive strengths obtained for samples with steel fibre and for non-fibre samples cured at 90°C

water were respectively 153.18 and 134.01 MPa. These values were 0.917 and 0.912, respectively, while compared to the compressive strengths of samples cured in autoclave conditions. It is understood that the warm water curing method can be used as an alternative to the autoclave curing method. Because the ratio is so high and this method is more economic than autoclave curing method.

Keywords: *RPC, compressive strength, sustainable concrete*



Şev yakınına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesinin sayısal analizi

M. Salih KESKİN*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
mkseskin@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0003-1973-4437

Fatih AKGÜL

Dicle Kalkınma Ajansı, Mardin
fatih.akgul@dika.org.tr

Geliş: 15.03.2019, Revizyon: 13.09.2019, Kabul Tarihi: 04.12.2019

Öz

Çalışmada, kum şevlerin yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bir prototip model oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizlerde, şev açısı, kumun sıklık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesi parametrelerinin, yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Analizlerde, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmış ve şev modelinde farklı şev açıları ve sıklık durumları için şev stabilite analizleri gerçekleştirilerek güvenlik sayıları elde edilmiştir. Analizler sonunda elde edilen sonuçlara göre, şev yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi, şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta, kumun sıklık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesinin artmasına bağlı olarak ise artış göstermektedir. Şev için elde edilen güvenlik sayıları şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta ve kumun sıklık derecesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Analizler sonucunda, ele alınan modeller için göçme mekanizmaları incelenmiş ve düz yüzeyli zemin durumunda temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde olduğu, şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması üzerindeki şev etkisinin azaldığı görülmüştür. Teorik çözümler ile elde edilemeyen deplasman ve gerilme davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilebiliyor olması göçme mekanizmasının daha iyi anlaşılmasına olanak vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Şev; yüzeysel temel; sonlu elemanlar yöntemi; taşıma kapasitesi; PLAXIS

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Yüzeysel temeller, tatbik edilen yükleri yüzeye yakın zemin katmanlarına aktarırlar ve bu durum, zeminde basınç ve kayma gerilmelerinin ortaya çıkmasına neden olur. Oluşan bu gerilmeler, genellikle uygulanan yükten dolayı meydana gelen temel taban basıncına ve temelin boyutlarına bağlı olmaktadır. Taban basıncının yeteri kadar büyük veya temelin yeteri kadar küçük olması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin kayma dayanımını aşabilir. Bu da taşıma gücü yenilmesi ile sonuçlanır (Coduto, 2001).

Literatürde, zeminlerin taşıma gücünü hesaplamada kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Uygulamada en çok kullanılan yöntemlerden biri, Terzaghi (1943) tarafından önerilen taşıma gücü teorisidir. Terzaghi teorisi, sürekli temeller (B/L oranı çok büyük olan temeller) için geliştirilmiş ve model deneyler sonucunda elde edilen deneysel katsayılar eklenerek teori, kare ve dairesel temellere uyarlanmıştır. Yüzeysel temeller için Terzaghi taşıma gücü formülü

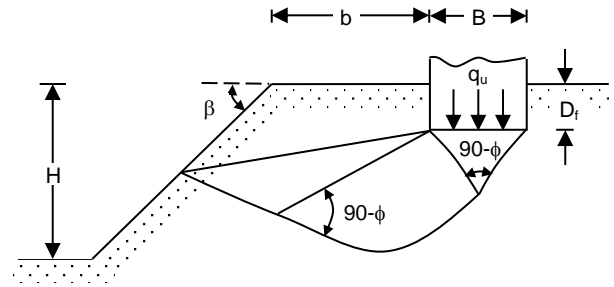
$$q_u = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N_\gamma \quad (1)$$

şeklinde. Burada; q_u , nihai taşıma gücünü, c , kohezyonu, γ , zeminin birim hacim ağırlığını, D_f , temel derinliğini, B , temel genişliğini, N_c , N_q , N_γ ϕ , zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörlerini, K_1 ve K_2 ise temel şekil katsayılarını göstermektedir. Terzaghi bağıntısı, sadece düz yüzeyli zemine oturan yatay tabanlı bir temel üzerine etki eden düşey yükleri göz önüne alır. Bununla birlikte, yüzeysel bir temelin, bir şev üzerine veya yakınına inşa edilmesi zorunluluğu ortaya çıkabilmektedir. Bu duruma örnek olarak, yaklaşım dolgularına oturan köprü ayakları, elektrik direkleri ve bazı bina yapıları gösterilebilir.

Bir yapı temelinin, şev üzerine veya yakınına inşa edilmesi durumunda, zeminin taşıma kapasitesi, düz zeminin taşıma kapasitesi ile karşılaştırıldığında, şevli zeminin eğimine ve

temelin konumuna göre önemli miktarda azalabilmektedir.

Şevli bir zeminin üzerine veya yakınına oturan yüzeysel bir temelin taşıma kapasitesi ile ilgili ilk teorik çalışmalar Meyerhof (1957) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de, H yüksekliğine sahip bir şevin yakınına oturan B genişliğinde bir şerit temel görülmektedir. Temel, şev tepesinden b kadar mesafeye yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Şev yakınına oturan temel (Das, 1999)

Kohezyonsuz zeminler ($c=0$) için, şev yakınına oturan sürekli temellerin taşıma kapasitesi (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q_u = 0.5 \gamma B N_{\gamma q} \quad (2)$$

Eşitlikte, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörü, temelin şev tepesine olan uzaklığı (b), şev açısı (β), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve temel derinliği (D_f) parametrelerine bağlı olarak elde edilmektedir (Das, 1999).

Şekil 1’de $b=0$ olması yani temelin şev eğiminin başladığı noktaya oturması halinde, temelin taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesi için Hansen (1970) aşağıdaki eşitliği vermiştir;

$$q_u = c N_c \lambda_{c\beta} + \gamma D_f N_q \lambda_{q\beta} + 0.5 \gamma B N_\gamma \lambda_{\gamma\beta} \quad (3)$$

Eşitlikte, $\lambda_{c\beta}$, $\lambda_{q\beta}$, $\lambda_{\gamma\beta}$ şev katsayılarını göstermektedir.

$\phi=0$ olması durumunda, Vesic (1975), şev ağırlığının ihmal edilerek, N_γ değerinin aşağıda sunulduğu gibi negatif değer alacağını ifade etmiştir:

$$N_{\gamma} = -2 \sin \beta \quad (4)$$

Graham ve diğ. (1988) tarafından, kohezyonsuz zeminler için önerilen, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün elde edilebilmesi için, gerilme karakteristikleri yöntemi kullanılarak bir çözüm geliştirilmiş ve abaklar halinde sunulmuştur.

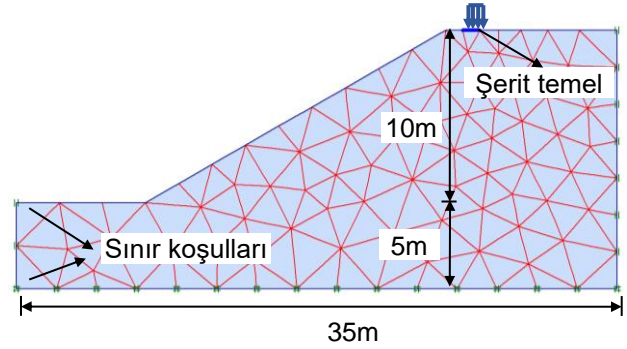
Saran ve diğ. (1989), limit denge ve limit analiz yaklaşımlarını kullanarak, şevli zeminlere oturan yüzeyel temellerin taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla bir çözüm geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, kumlu şevlerin yakınına oturan yüzeyel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, prototip bir zemin-temel modeli oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini kullanan PLAXIS v8.2 bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Analizlerde, şev açısı, kumun sıklık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesi parametrelerinin, yüzeyel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, yük olmayan durumlar için farklı koşullarda şev stabilite analizleri gerçekleştirilmiş ve güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada, kum şeve oturan yüzeyel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan iki boyutlu PLAXIS v8.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Program, geoteknik uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çalışmada, problem iki boyutlu ve model geometrisine uygun olarak düzlem-şekil değiştirme koşullarında analiz edilmiştir (Şekil 2).

Analizlerde kullanılan prototip modelin genişliği 35 m., toplam yükseklik 15 m., şev yüksekliği 10 m., temel genişliği, B, temelin şev tepesine olan uzaklığı, b ve şev açısı, β değişkendir.



Şekil 2. Geometrik model

Şerit temel genişlikleri, $B=1.00-1.25-1.50$ m., şev açıları, $\beta=25^{\circ}-30^{\circ}-35^{\circ}$, temelin şev tepesine olan uzaklıkları, $b=0B-1B-2B-3B-4B-5B$ olarak seçilmiştir.

Çalışmada, kum zemin sıklığının etkisinin araştırılması amacıyla gevşek, orta sıkı ve sıkı zemin durumlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kum zemin, Mohr-Coulomb (MC) zemin modeli kullanılarak modellenmiştir. MC model, elasto-plastik zemin modelidir. Modelde, giriş parametreleri olarak, programa; zeminin birim hacim ağırlığı, γ , kohezyon, c , içsel sürtünme açısı, ϕ , Poisson oranı, ν , Elastisite modülü, E , ve dilatasyon açısı, ψ girilmektedir. Zemin rijitliği (E), bütün zemin tabakalarında sabittir (Keskin, 2009). MC model için sayısal analizlerde kullanılan model zemin parametreleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. MC model zemin parametreleri

Parametre	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
γ (kN/m ³)	16.5	17.0	17.5
E (kN/m ²)	20000	28000	40000
ν (-)	0.25	0.25	0.25
ϕ (°)	40.6	41.8	43.5
c (kN/m ²)	0.10	0.10	0.10
ψ (°)	10.6	11.8	13.5

Analizlerde şerit temel plakası, betonarme malzeme özellikleri kullanılarak programda mevcut plate eleman ile modellenmiştir. Şerit temel plakasının malzeme parametreleri, $EI=4.16 \times 10^6$ kNm²/m, $EA=2 \times 10^8$ kN/m, kalınlığı ise $d=0.50$ m.'dir.

Sayısal çözümlerde, geometri oluşturulduktan sonra, sınır koşulları belirlenmiş ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Malzeme özellikleri belirlendikten sonra, başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş ve şerit temele üniform gerilme uygulanarak çözüm elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

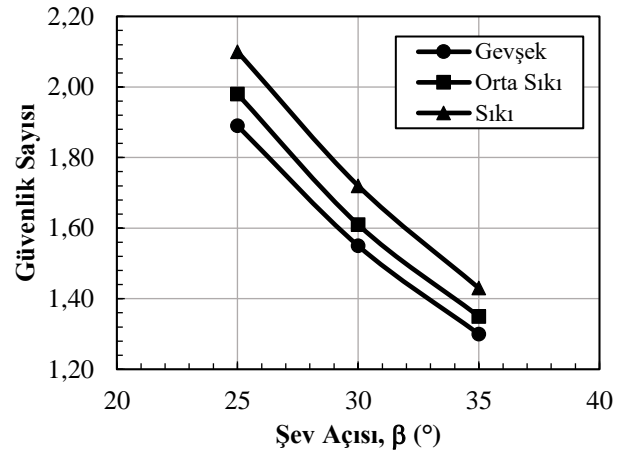
Çalışmada, farklı genişliklere sahip şerit temel ($B=1.00\text{m}$, 1.25cm ve 1.50cm), değişik sıklıklardaki kum zemine ($\phi=40.6^\circ$, $\phi=41.8^\circ$ ve $\phi=43.5^\circ$), şev tepesine farklı mesafelerde ($b=0B$, $1B$, $2B$, $3B$, $4B$, $5B$) yerleştirilerek farklı şev açılarında ($\beta=25^\circ$ - 30° - 35°) analiz edilmişlerdir. Ayrıca, analizler sonucunda elde edilen deplasman ve gerilme konturları kullanılarak kum şeve oturan şerit temelin göçme mekanizması incelenmiştir.

Şev Stabilite Analizleri

Analizlerde ele alınan prototip şev zemin modelin, farklı şev açıları ($\beta=25^\circ$ - 30° - 35°) ve kum sıklıkları değerleri için ($\phi=40.6^\circ$, $\phi=41.8^\circ$, $\phi=43.5^\circ$) güvenlik sayıları PLAXIS programı kullanılarak elde edilmiştir. Programda, şev stabilite analizleri mukavemet azaltma yöntemi (phi-c reduction) ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, kayma mukavemeti parametreleri, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri şevde göçme oluşuncaya ve denge çözümü ortadan kalkıncaya dek azaltılır (Keskin ve Laman, 2007). Şekil 3 ve Tablo 2’de farklı şev açıları ($\beta=25^\circ$ - 30° - 35°) ve sıklık durumları ($\phi=40.6^\circ$, $\phi=41.8^\circ$, $\phi=43.5^\circ$) için analizler sonucunda bulunan güvenlik sayısı değerleri verilmektedir. Şekil 3 ve Tablo 2 incelendiğinde, şev açısının artmasıyla güvenlik sayısı değerlerinin azaldığı, kumun sıklık derecesi değerlerinin artmasına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir.

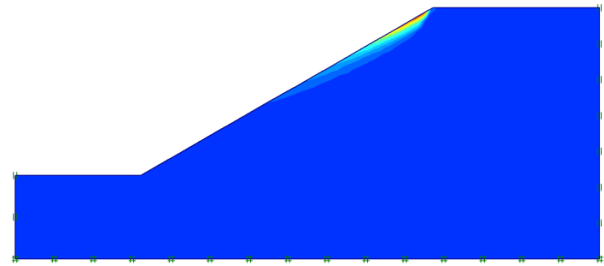
Tablo 2. Farklı durumlar için güvenlik sayıları

Şev açısı, β ($^\circ$)	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
25	1.89	1.98	2.10
30	1.55	1.61	1.72
35	1.30	1.35	1.43

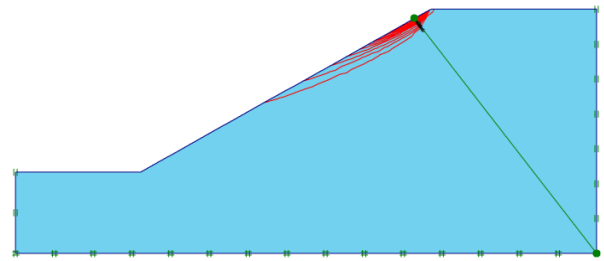


Şekil 3. Güvenlik sayısı – Şev açısı ilişkisi

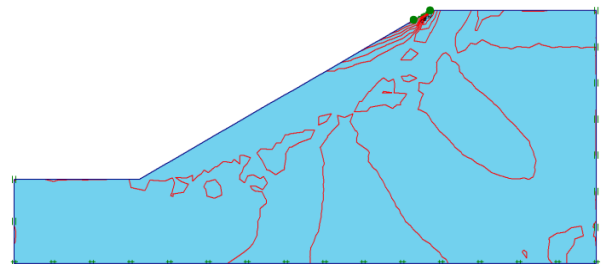
Şekil 4’de sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilebilen kayma yüzeyi görüntüleri görülmektedir ($\beta=30^\circ$, $\phi=41.8^\circ$).



(a) Toplam deplasmanlar



(b) Deplasman konturları



(c) Kayma deformasyonları

Şekil 4. Kayma yüzeyleri ($\beta=30^\circ$, $\phi=41.8^\circ$)

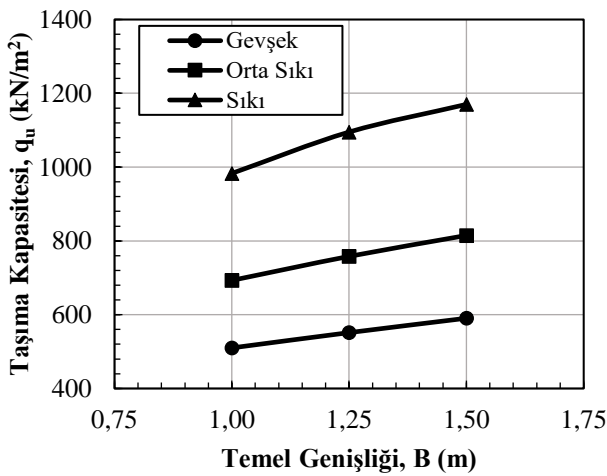
Taşıma Kapasitesi Analizi

Çalışmada, farklı genişliklere sahip şerit temel ($B=1.00\text{m}$, 1.25m ve 1.50m), değişik sıklılıklardaki kum zemine ($\phi=40.6^\circ$, $\phi=41.8^\circ$ ve $\phi=43.5^\circ$), şev tepesine farklı mesafelerde ($b=0B$, $1B$, $2B$, $3B$, $4B$, $5B$) yerleştirilerek farklı şev açılarında ($\beta=25^\circ$ - 30° - 35°) analiz edilmişlerdir. Sayısal analizlerde, MC modelde belirgin bir göçme noktası elde edilemediğinden dolayı göçme kriteri olarak temel genişliğinin % 10'una denk gelen deplasman belirlenmiş ve bu değere karşılık gelen yük göçme yükü olarak seçilmiştir (0.1B yöntemi). Analizlerde öncelikle farklı temel genişlikleri ve kum sıklılıkları için şevsiz durumda ($\beta=0^\circ$) taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve şevli durumda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Şekil 5 ve Tablo 3'de şevsiz durumda analizler sonucunda bulunan taşıma kapasitesi değerleri verilmektedir. Şekil 5 ve Tablo 3 incelendiğinde, düz zemine oturan şerit temelin taşıma kapasitesi değerlerinin, temel genişliğinin ve kumun sıklılık değerlerinin artmasına bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3. Taşıma kapasitesi değerleri ($\beta=0^\circ$)

Temel Genişliği, B (m)	Taşıma Kapasitesi (kN/m ²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
1.00	510	693	983
1.25	551	758	1095
1.50	590	815	1170



Şekil 5. $q_u - B$ İlişkisi ($\beta=0^\circ$)

Tablo 4, 5 ve 6'da sırasıyla, $\beta=25^\circ$, 30° ve 35° şev açısına sahip zemine oturan $B=1\text{m}$. genişliğindeki temelin, şev tepesine farklı mesafeleri için analizler sonucunda elde edilen taşıma kapasitesi değerleri görülmektedir. Şekil 6, 7 ve 8'de ise değerler grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo 4. q_u değerleri ($B=1\text{m}$, $\beta=25^\circ$)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m ²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	279	336	416
1	378	498	690
2	414	552	817
3	416	561	835
4	418	562	838
5	418	564	840

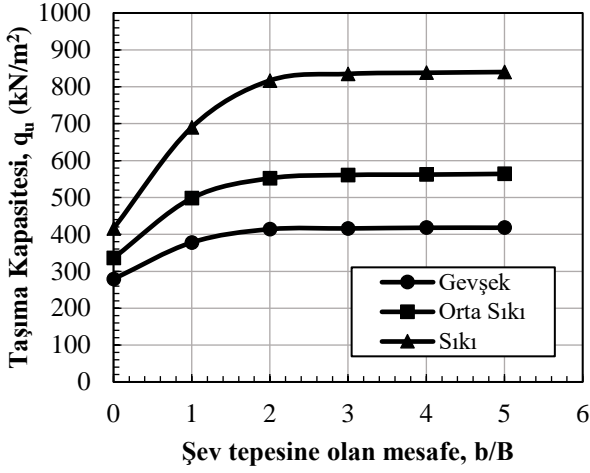
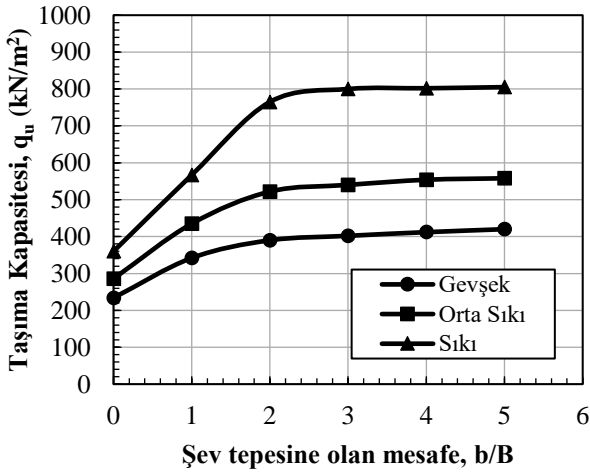
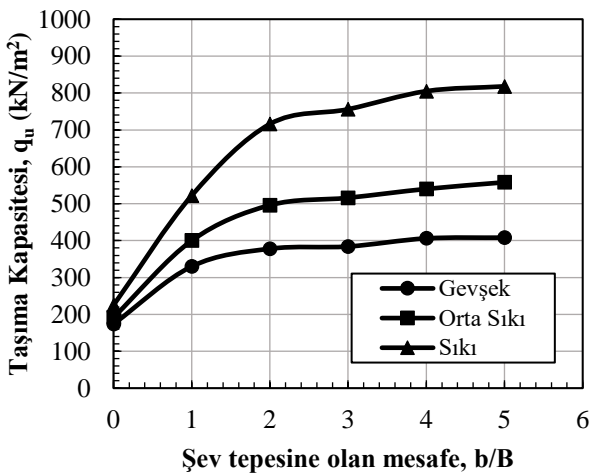
Tablo 5. q_u değerleri ($B=1\text{m}$, $\beta=30^\circ$)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m ²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	234	286	360
1	342	435	567
2	390	522	765
3	402	540	800
4	412	554	802
5	420	558	805

Tablo 6. q_u değerleri ($B=1\text{m}$, $\beta=35^\circ$)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m ²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	174	192	225
1	330	400	522
2	378	496	716
3	384	516	756
4	406	540	805
5	408	558	818

Tablo 4-5-6 ve Şekil 6-7-8 incelendiğinde, şev açısı arttıkça taşıma kapasitesi değerlerinin azaldığı, sıklılığın artmasına bağlı olarak ve şev tepesinden uzaklaşıldıkça taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Tablo 4-5-6 ve Şekil 6-7-8'den, şev tepesine olan mesafenin $3B$ olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarının oldukça azaldığı ve mesafenin $5B$ olması durumunda ise taşıma kapasitesinin, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %85-90'ına denk geldiği görülmektedir.

Şekil 6. $q_u - b/B$ ilişkisi ($B=1m, \beta=25^\circ$)Şekil 7. $q_u - b/B$ ilişkisi ($B=1m, \beta=30^\circ$)Şekil 8. $q_u - b/B$ ilişkisi ($B=1m, \beta=35^\circ$)

Çalışmada, temel genişliğinin şev yakınına oturan şerit temellerin taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesi amacıyla, $B=1m$. genişliğinde temele ilave olarak $B=1.25$ ve $1.50m$. genişliğindeki temeller kullanılarak taşıma kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Bu analizlerde, şev açısı $\beta=30^\circ$ sabit tutularak, şerit temeller, değişik sıklıklardaki kum zemine ($\phi=40.6^\circ$, $\phi=41.8^\circ$ ve $\phi=43.5^\circ$), şev tepesine farklı mesafelerde ($b=0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 5B$) yerleştirilmiş ve taşıma kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 7-8 ve Şekil 9-10'da görülmektedir.

Tablo 7. q_u değerleri ($B=1.25m, \beta=30^\circ$)

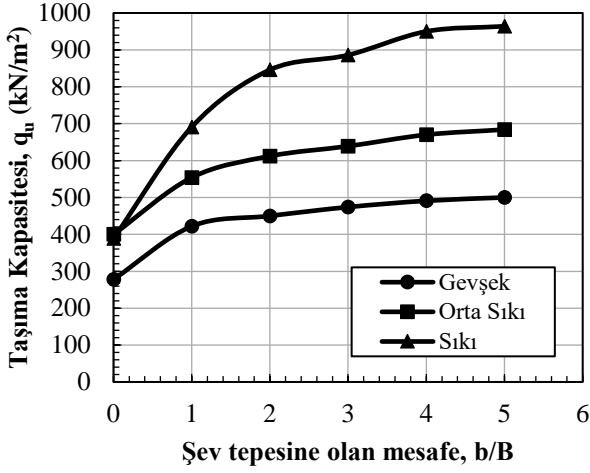
b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	278	400	389
1	422	554	691
2	450	612	846
3	474	639	886
4	491	670	950
5	500	684	964

Tablo 8. q_u değerleri ($B=1.50m, \beta=30^\circ$)

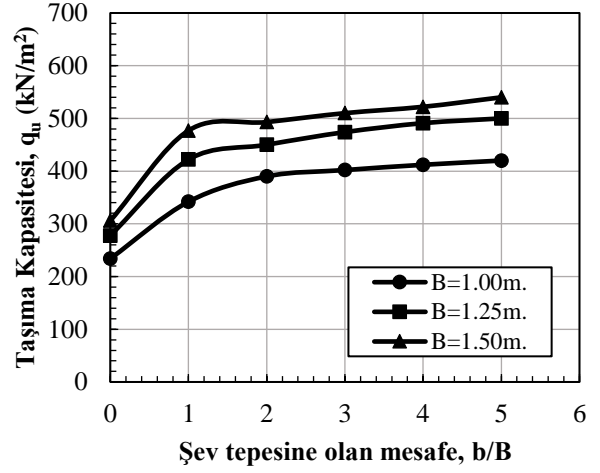
b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	306	369	450
1	477	639	864
2	493	657	939
3	510	706	1020
4	522	733	1045
5	540	738	1045

Tablo 7-8 ve Şekil 9-10 incelendiğinde, kumun sıklık derecesi arttıkça ve şev tepesinden uzaklaştıkça taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmektedir.

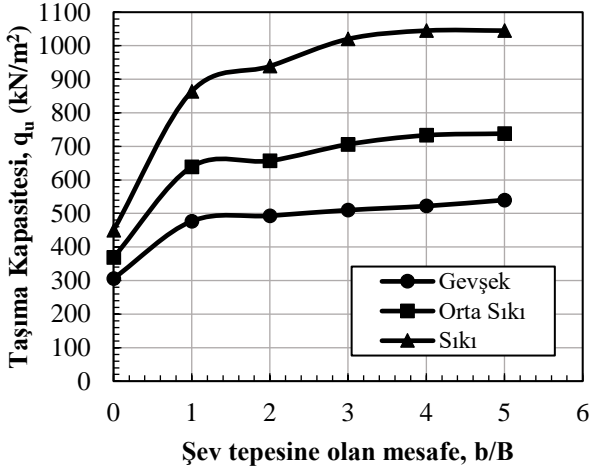
Tablo 7-8 ve Şekil 9-10'dan, şev tepesine olan mesafenin $3B$ olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarının oldukça azaldığı ve mesafenin $5B$ olması durumunda ise taşıma kapasitesinin, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %90'ına denk geldiği görülmektedir.



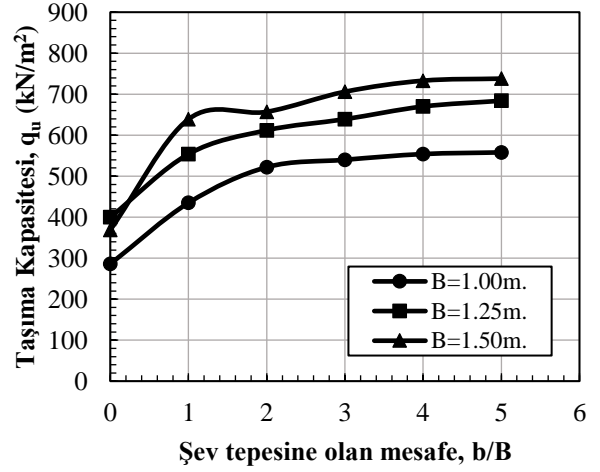
Şekil 9. $q_u - b/B$ İlişkisi ($B=1.25m, \beta=30^\circ$)



Şekil 11. $q_u - b/B$ İlişkisi ($\beta=30^\circ, \phi=40.6^\circ$)



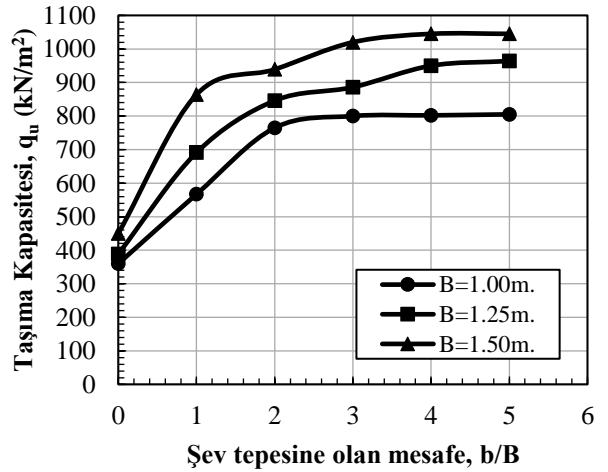
Şekil 10. $q_u - b/B$ İlişkisi ($B=1.50m, \beta=30^\circ$)



Şekil 12. $q_u - b/B$ İlişkisi ($\beta=30^\circ, \phi=41.8^\circ$)

Şekil 11, 12 ve 13'de farklı temel genişlikleri için $\beta=30^\circ$ şev açısında ve farklı sıklıklarda elde edilen taşıma kapasitesi değerleri görülmektedir.

Şekil 11, 12 ve 13 incelendiğinde daha büyük temel genişliklerinde daha büyük taşıma kapasitesi değerlerinin elde edildiği görülmektedir. $B=1m$ temel genişliği %25 artırılarak $B=1.25m$ seçildiğinde, taşıma kapasitesi değerleri yaklaşık ortalama %20 artarken, $B=1.25m$ temel genişliği %20 artırılarak $B=1.50m$ seçildiğinde, taşıma kapasitesi değerlerinin yaklaşık %10-15 arasında arttığı ve bu durumun tüm sıklık değerlerinde benzer olduğu görülmektedir.



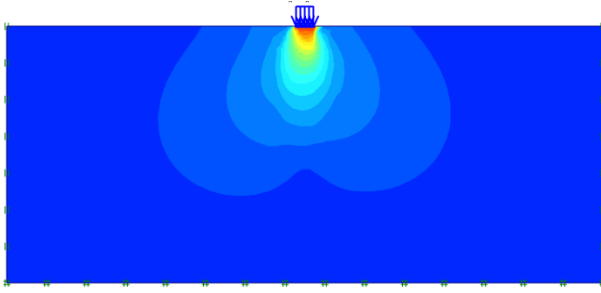
Şekil 13. $q_u - b/B$ İlişkisi ($\beta=30^\circ, \phi=43.5^\circ$)

Göçme Mekanizması

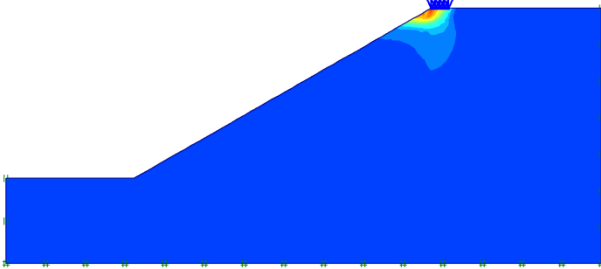
Kum şevlerin yakınına oturan şerit temellerin göçme mekanizmalarının irdelenmesi amacıyla, analizler sonucunda farklı durumlar için elde edilen deplasman konturları incelenmiştir.

Şekil 14a'da orta sıkı durum için düz yüzeyli zemine oturan $B=1m$ genişliğindeki şerit temel için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen deplasman konturları görülmektedir.

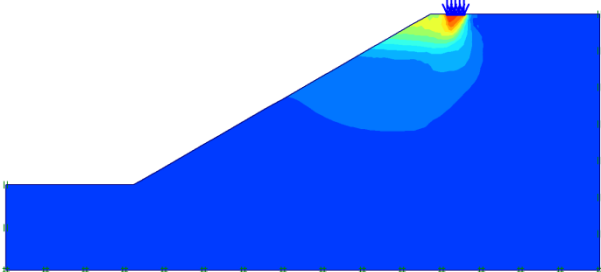
Şekil 14b-c-d-e-f-g'de ise orta sıkı durum için $\beta=30^\circ$ açılıya sahip şevli zemine sırasıyla $b/B=0-1-2-3-4-5$ mesafelerinde oturan $B=1m$ genişliğindeki şerit temel için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen deplasman konturları görülmektedir.



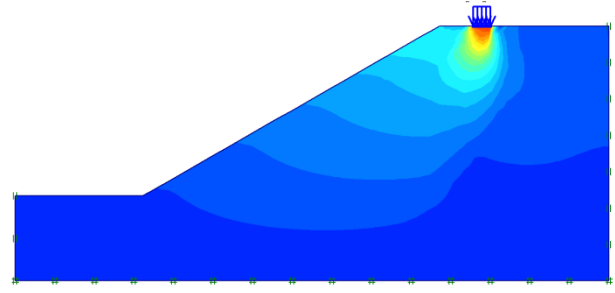
(a) Düz zemin ($\beta=0^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



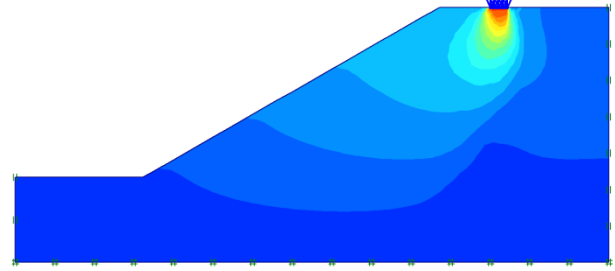
(b) $b/B=0$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



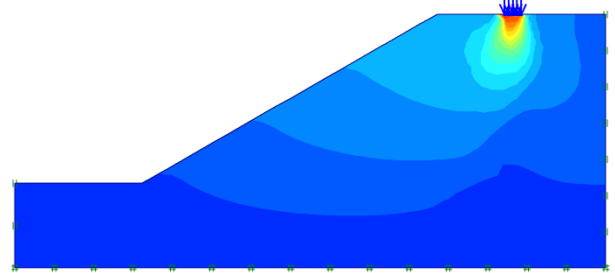
(c) $b/B=1$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



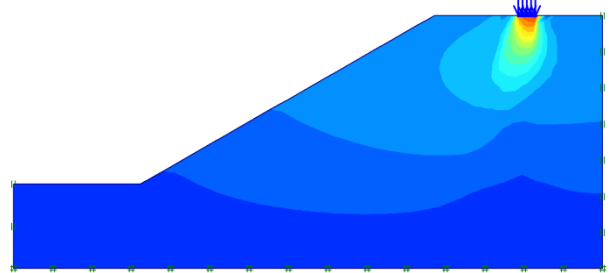
(d) $b/B=2$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



(e) $b/B=3$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



(f) $b/B=4$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)



(g) $b/B=4$ ($\beta=30^\circ$, $B=1m$, $\phi=41.8^\circ$)

Şekil 14. Göçme Mekanizması

Göçme mekanizmaları incelendiğinde, düz yüzeyli zeminde temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda şev tepesine en yakın mesafedeyken deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde olduğu görülmektedir. Temel, şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması da şev yüzeyinden uzaklaşmakta ve düz yüzeyli zemin durumuyla benzerlik göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, kumlu şevlerin yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, oluşturulan model üzerinde farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır:

Model şev için elde edilen güvenlik sayıları şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta ve kumun sıklık derecesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır.

Şev açısı arttıkça taşıma kapasitesi değerlerinin azalmakta, sıklığın artmasına bağlı olarak ve şev tepesinden uzaklaştıkça taşıma kapasitesi değerleri artmaktadır. Şev tepesine olan mesafenin 3B olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarı oldukça azalmakta ve mesafenin 5B olması durumunda taşıma kapasitesi, düz yüzeysel zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %85-90'ına karşılık gelmektedir.

Temel genişliği arttıkça taşıma kapasitesi de artmaktadır. Temel genişliği %25 arttırıldığında, taşıma kapasitesi değerleri yaklaşık ortalama %20 artarken, genişliğin %20 arttırılması durumunda kapasitesi değerleri yaklaşık %10-15 arasında artmaktadır.

Düz yüzeysel zemin durumunda temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde olduğu şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması üzerindeki şev etkisi azalmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi DÜBAP MÜHENDİSLİK.15.003 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Coduto, D. P. (2001). *Foundation design: principles and practices*, 883, New Jersey, Prentice Hall.
- Das, B. M. (1999). *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*, 365, CRC Press., USA.
- Graham, J., Andrews, M. and Shields, D. H. (1988). Stress characteristics for shallow footings in cohesionless slopes, *Canadian Geotech. J.*, 25 (2), 238-249.
- Hansen, J. B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity, *Danish Geotechnical Institute, Bulletin* 28, 5-11.
- Keskin, M.S. (2009). Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Keskin, M.S., Laman, M. (2007). Sonlu elemanlar yönteminin şev stabilitesi problemlerinin analizinde kullanılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 101-114.
- Meyerhof, G. G. (1957). The ultimate bearing capacity of foundations on slopes, *in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.*, London England, 1, 384-386.
- PLAXIS. (2002). *User Manual. 2D version8*, (Edited by Brinkgrvee, R.J.B.), Delft University of Technology&PLAXIS b.v., The Netherlands.
- Saran, S., Sud, V. K., and Handa, S. C. (1989). Bearing capacity of footing adjacent to slopes, *J. Geotech. Eng., ASCE*, 115 (4), 553.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*, John Wiley Publications, New York. 528.
- Vesic, A. S. (1975). *Bearing capacity of shallow foundations*, in *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., 121.

Analysis of bearing capacity behaviour of shallow foundations near slope

Extended abstract

There are a lot of situations where foundations should be built on or near a slope. Because of the land limitation and economical purposes, structures are generally located on the crest of slope or at a setback distance from the slope crest. For example, bridge piers supported on approach embankments, foundations on electrical transmission towers and some buildings. It is known that the bearing capacity of a foundation near a sloped ground is less than that on a flat ground. Therefore, in many situations, the classical types of shallow foundations are inadequate.

In this study, bearing capacity of strip footings near sand slope was investigated using finite element method. Finite element analyses were performed using commercially available computer program PLAXIS. The PLAXIS v8.2 program is a geotechnical finite element package for two-dimensional analysis of deformation and stability of any geotechnical engineering project. In the analysis, strip shaped plates were used as footing and modeled under plain-strain conditions. The sand soil was modeled using Mohr-Coulomb model. Also, the stability analysis of the slope model was performed using phi-c reduction method and factor of safety was obtained.

In the study, the effect of distance from the slope crest ($b/B=0-1-2-3-4-5$), slope angle ($\beta=25^\circ-30^\circ-35^\circ$), the relative density of sand ($\phi=40.6^\circ, \phi=41.8^\circ, \phi=43.5^\circ$) and width of the strip footing ($B=1.00m-1.25m-1.50m$) on the bearing capacity were investigated.

The results show that the bearing capacity of the strip footing near a slope, increase almost linearly with an increase in setback distance up to setback distance to footing width ratio of $b/B=3.0$. Beyond this value the amount of increase is considerably reduced. At setback distance of $b/B=5.0$, the ultimate bearing capacity reaches 85-90% of bearing capacity of footing on level ground.

The bearing capacity of strip footing on sand slope is significantly dependent on the slope angle, relative density of sand, and width of the footing.

The obtained results show that as the slope angle increases or slope becomes steeper the ultimate

bearing capacity of footing decreases. Moving the footing further from the slope overcomes this reduction due to the increase in slope angle.

The bearing capacity of the footing on a slope is significantly increases with an increase of relative density of sand.

Based on the analysis results, as the footing width increases the ultimate bearing capacity increases. When the footing width is increased by 20% and 25% the bearing capacity increases about 15% and 20%, respectively.

Finite element method has some advantages to recognize the failure mechanism of plate anchors in sand. It can be noted that if the footing is located close to the edge of the slope, the soil below the footing tends to move toward the slope, since it has less shear resistance. The form of failure surfaces are affected by the setback distance from the slope crest. With increasing setback distance, the failure zone is larger and will provide a higher bearing capacity. When the footing is located away from the slope crest, the bearing capacity of the footing increases as expected. It can be said that, the degree of confinement on the side of the slope increases and part of the stress due to the footing begins being governed by soil on the side of the ground surface.

Keywords: slope, shallow foundation, finite element method, bearing capacity, PLAXIS.



Koridor Hızı İhlal Tespit Sistemlerinin (KOHİTS) Performans Ölçümlerinde Kullanılabilecek Bir Ölçüm Metodunun Önerilmesi

Metin Mutlu AYDIN*

Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane
metinmutluaydin@gmail.com ORCID: 0000-0001-9470-716X, Tel: (456) 233 10 00 (1631)

Sevil KÖFTECİ

Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
skofteci@akdeniz.edu.tr ORCID: 0000-0002-5096-2545

Geliş: 25.03.2019, Revizyon: 07.05.2019, Kabul Tarihi: 27.05.2019

Öz

Sürücülerin şehir içi ve şehirlerarası yollarda yüksek hızlarda hareket etmeleri ölümlerle ya da yaralanmalar ile sonuçlanan çok sayıda trafik kazasına sebep olmaktadır. Gözlemlenen bu olumsuz durum, ulaştırma alanında çalışan araştırmacıları, yetkilileri ve planıcıları sürücülerin trafikte aşırı hızlı hareket etmelerini önleme üzerine yeni çözümler geliştirme konusunda motive etmiştir. Dünya genelinde son yıllarda araçların aşırı hızlı hareket etmelerini sınırlandırmak amacıyla anlık ve ortalama hız ölçümü yapabilen farklı radar ve ölçüm sistemleri geliştirilmiştir. Türkiye’de ise son yıllarda Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) verilen önemin artması ile birlikte, aşırı hızların gözlemlendiği koridorlarda ortalama hızların tespit edilmesine ve araç hızlarının kontrol edilmesi amacıyla Koridor Ortalama Hız İhlal Tespit Sistemleri (KOHİTS) uygulamasına geçilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, KOHİTS’lerin performans ölçümlerinin nasıl yapılacağı konusunda her türlü işlem adımları ile ölçüm yöntemlerini içeren ve içerisinde 3 farklı ortalama hız ölçüm tekniğini (Test aracı, Kronometre ve GPS özellikli araç içi kamera) barındıran bir performans ölçüm metodu önerilmiştir. Çalışma kapsamında, belirlenen tüm işlem adımları hakkında detaylı bilgi verebilmek amacıyla seçilen 2 pilot kentteki (Gölbaşı/Adıyaman ve Toprakkale/Osmaniye) toplam 12 farklı KOHİTS’in işletmeye açılmadan önceki performans ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden, incelenen 12 farklı koridorda sistem yazılımının ölçtüğü ortalama hızlar ile önerilen 3 farklı ölçüm tekniği kullanılarak yapılan ortalama hız ölçümleri arasındaki farkın yetkililer tarafından önerilen 70 km/sa’ye kadar ± 3 km/s, 70 km/s üzerinde $\pm 3\%$ sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çalışma kapsamında önerilen ve içerisinde uzunluk ölçümü, ortalama hız ölçümleri ve diğer bazı ölçüm adımlarını içeren bu yeni metodun, KOHİTS’lerin performans ölçümlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ortalama hız; hız ölçümü; aşırı hız; trafik kazaları; hız limiti.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Sürücülerin hız limitlerinin üzerinde ve aşırı hızlı araç kullanmaları trafik kazaları üzerinde etkili olan en önemli parametrelerden birisidir (Aarts ve van Schagen, 2006; Hauer, 2009; Neuman vd., 2009). Sürücülerin özellikle şehirçi ve şehirlerarası yollarda yüksek hızlarda hareket etmeleri ölümle ya da yaralanma ile sonuçlanan çok sayıda kazaya sebep olmaktadır (Ng ve Small, 2012; Bella, 2013; Zainuddin vd., 2013; Montella vd., 2015; Vaitkus vd., 2017). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) bu konuda 2018 yılında hazırladığı raporda, Dünya genelinde meydana gelen yaklaşık 1.35 milyon ölümlü kazanın yarısından fazlasının araçların hız limitlerinin üzerinde gitmesinden kaynaklandığını belirterek; aşırı hızın kazalar üzerindeki etkisine dikkat çekmiştir (WHO, 2018). Araçların hızlı gitmesi sadece hız limitlerinin üzerinde hareket olarak değil, hız limitleri içerisinde hareket ederken mevcut hızın hava durumuna, havanın aydınlık olup olmamasına, trafik ve yol koşullarına uygun hale getirilmeden hareket etme davranışı olarakta ifade edilebilir (NHTSA, 2012; Montella vd., 2013). Araçların hızlı hareket etmesi, meydana gelen kazaların büyüklüğü üzerinde önemli ve ayrıştıracı bir faktördür. Yüksek hızlarda sürücülerin çevresel etmenleri algılama ve reaksiyon süresi azalmakta ve bu durum kaza olasılığını arttırmaktadır (Montella vd., 2015). Bu durum, hemen hemen tüm sürücüler tarafından bilinen net bir bilgi olsa da birçok sürücü trafikte hızlı şekilde araç kullanma eğilimini sürdürmektedir (Fleiter vd., 2010). Gözlemlenen bu olumsuz tutum, ulaştırma alanında çalışan araştırmacıları, yetkilileri ve plancıları sürücülerin trafikte aşırı hızlı hareket etmelerini önleme üzerine yeni çözüm önerileri geliştirme konusunda motive etmektedir (Montella vd., 2015).

Dünya genelinde son yollarda araçların aşırı hızlı hareket etmelerini sınırlandırmak amacıyla sabit, mobil, gezici ve sabit ortalama hız ölçümünü içeren farklı hız ölçüm sistemleri geliştirilmiştir (Bates vd., 2016). Bunlardan ilki sabit hız ölçüm sistemleridir. Bu sistemlerde hız ölçümü yapan radarlar bir noktaya sabit duracak şekilde monte edilerek aktif hale getirilmekte ve sistem sabit

şekilde anlık hız ölçümü yapmaktadır. Bu sistemler 24 saat operatör kontrolü ihtiyacı olmaksızın çalışabilmekte ve araçların anlık hızlarını ölçebilmektedir (Carnis ve Blais, 2013). Bu sistemler üzerine Avrupa ve Avustralya'da yapılan ölçümlerden hız limitinin üzerinde giden araçların hızlarında %14-65 arasında bir azalma gözlemlenmiştir (Hu ve Anne, 2016). Geliştirilen bir diğer sistem ise mobil hız ölçüm sistemleridir. Bu sistemler ise yol kenarına park edilmiş bir araç içerisine kurulan ve yine araçların anlık olarak hızlarını ölçebilen radar sistemleridir (Jones vd., 2018). Günümüzde polislerin en çok kullandığı sistemlerden birisi olarak ön plana çıkmaktadır. Diğer bir yöntem olan gezici hız ölçüm sistemleri ise mobil hız ölçüm kameralarına benzer şekilde araç içerisine kurulan ve ölçüm aracı hareket halinde iken araçların anlık hızlarını ölçebilen hareketli radar sistemlerdir (Wilson vd., 2010). Geliştirilen ve son yıllarda etkin şekilde kullanılan sistemler ise ortalama hız tespit sistemleridir. Bu sistemler ise araçların belirli bir mesafedeki (koridordaki) ortalama hızlarını ölçmek amacıyla belirli noktalara yerleştirilen kameralar yardımıyla ortalama hızları ölçen sistemlerdir (Soole vd., 2013). Ortalama hız tespiti kavramı literatürde noktadan noktaya hız tespiti ya da kesit kontrolü olarakta bilinmekte ve ifade edilebilmektedir. Yapılan mevcut çalışmalar bu sistemlerin, araçların belirli bir koridor boyunca ortalama hızlarının azaltılması ve hızların kontrolü üzerinde oldukça etkili sistemler olduğunu göstermiştir (Lynch vd. 2011; Cascetta vd., 2011; Montella vd., 2012; Yannis vd., 2013).

Ortalama hız ölçüm sistemleri yeni bir sistem olmasına rağmen Dünya genelinde halen çok yaygın şekilde kullanılan bir sistem değildir (DoCota, 2012). Bu sistemler ilk olarak 1997 yılında deneme amaçlı Hollanda'da işleme açılmış ve 2002 yılında kullanımı kalıcı hale getirilmiştir. Bu sistem Hollanda genelinde gün geçtikçe daha da yaygınlaşmış ve yapılan çalışmalar araçların ortalama hızlarının hız limitinden %0,5 farklılığa eşit olduğunu göstermiştir (Wegman ve Goldenbeld, 2006). Birleşik Krallık'ta ise bu sistemler 1999 yılında ilk olarak kent şehrinde deneme amaçlı olarak

uygulanmıştır. Bu sistemler kurulduğu yol kesimlerinde araçların uniform ve hız limitlerine yakın hızlarda hareket etmesini sağlaması; daha az fren ve daha büyük takip aralıklarına neden olması sebebiyle Birleşik Krallık'ta da yaygın şekilde kullanılmaya başlamıştır (Collins ve McConell, 2008). Bu sistemlerin İskoçya'da 2005 yılında kurulması sonucu yapılan gözlemlerden tüm kaza sayısında %19, ölümlü kazalarda %46 ve yaralanmalı kazalarda ise %37 azalma sağladığı ölçülmüştür (Soole vd., 2012). Montella vd. (2012) ise İtalya'da yaptıkları çalışmada, 80 km uzunluktaki bir koridor üzerine kurulan ortalama hız tespit sistemlerinin güvenlik üzerindeki etkisini araştırmış ve bu amaçla deneysel Bayes gözlemleri ile öncesi ve sonrası tahmin çalışmaları yürütmüştür. Elde edilen gözlem verilerinin tahmininden toplam kazalarda %31,2 azalma meydana geleceği öngörülmüştür. Ayrıca çalışma sonucunda sistemin ilk kurulumundan sonraki etkinin ilerleyen zamanlardaki etkiye göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Montella vd., (2015) yaptıkları bir başka çalışmada ise Naples/İtalya'ya kurulan koridor ortalama hız ihlal tespit sistemlerinin hafif araçlar ve ağır araçların hız limitlerinden 20 km/sa üzerinde hareket etmelerini sırasıyla %84 ve %77 azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Araç hızları arasındaki farklılığı ise hafif ve ağır araçlar için sırasıyla %26 ve %20 azalttığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, ortalama hız tespit sistemlerinin bir koridorda hareket eden araç hızlarındaki farklılığı önemli bir derecede azaltmayı başardığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmalara göre KOHİTS olan yol kesimlerinde sürücülerin hız sınırına yakın hızlarda hareket etmeleri sebebiyle trafik akışının homojenleştiği ve bu durumda trafik yoğunluğunu pozitif yönde etkileyerek seyahat sürelerini azalttığı gözlemlenmiştir (Charlesworth, 2008; Koy ve Benz, 2009; Ilgaz ve Saltan, 2017). KOHİTS'lerin faydaları üzerine yapılan çalışmalardan ayrıca, hızları düzenleme, kaza sayısını azaltma vb. faydaların yanı sıra bu sistemlerin polislerin iş yüklerini büyük ölçüde azalttığı; ceza kesim ve tebliğ süresini kısalttığı için doğal olarak işlem süresine pozitif bir katkısının olduğu sonucuna

ulaşılmıştır (Malenstein, 1997; Ilgaz ve Saltan, 2017).

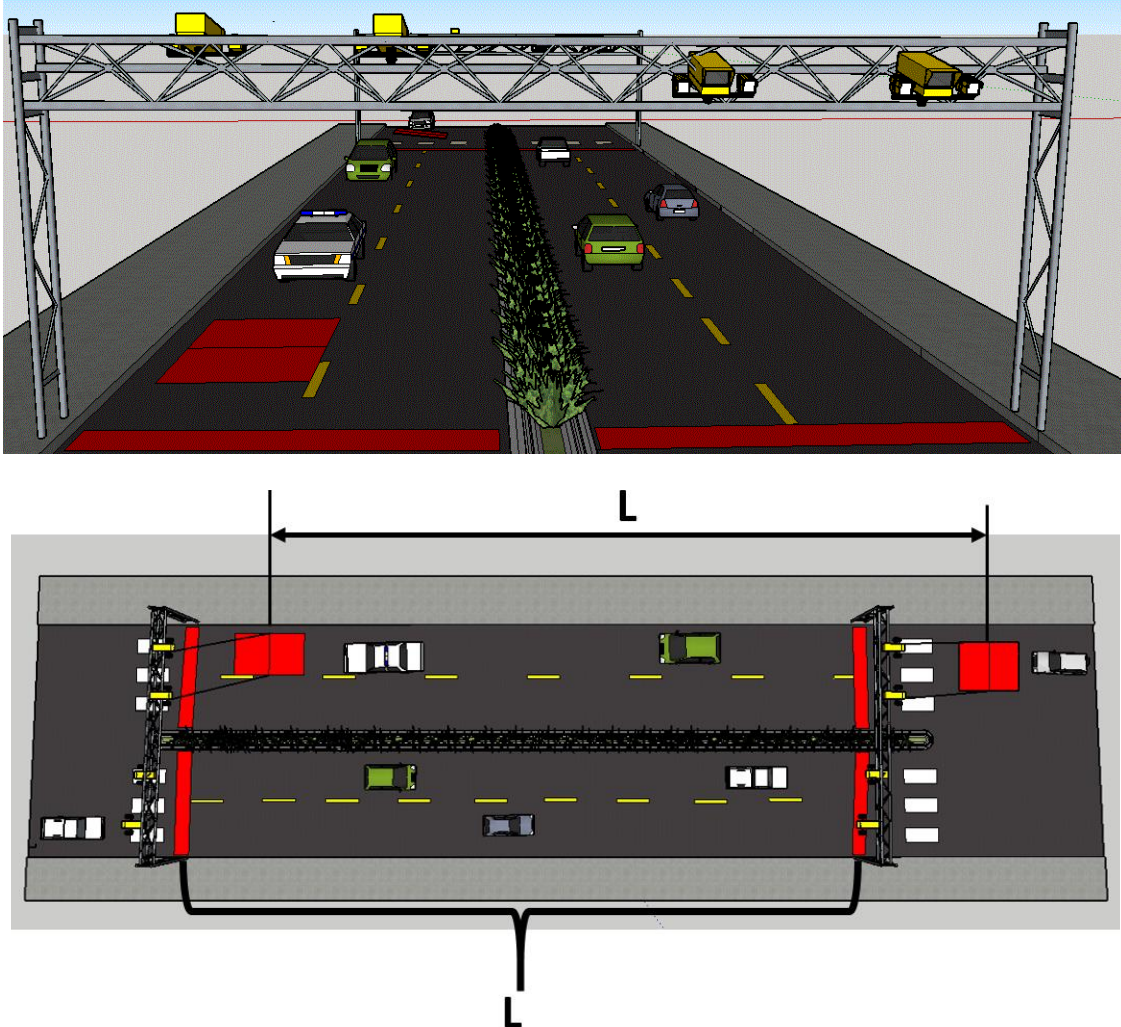
Türkiye'de ise son yıllarda Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) verilen önemin artması ile birlikte 2007 yılından itibaren aşırı hızların gözlemlendiği koridorlarda ortalama hızların tespit edilmesi amacıyla Koridor Ortalama Hız İhlal Tespit Sistemleri (KOHİTS) uygulamasına geçilmiştir. KOHİTS'ler ilk olarak İstanbul, İzmir, Konya, Ordu, Gaziantep, Tekirdağ, Uşak, Edirne ve Çorum illerini kapsayacak şekilde uygulanmaya başlanmıştır (Ilgaz ve Saltan, 2017). Emniyet Genel Müdürlüğü'nün araç hızlarının kontrol edilerek trafik güvenliğinin artırılması amacı doğrultusunda, bu sistemlerin kullanımı gün geçtikçe ülke çapında birçok il ve ilçeyi kapsayacak şekilde yaygınlaştırılmıştır. Son yıllarda ülkemizde trafik güvenliği üzerine çalışan birçok Ar-Ge firması, KOHİTS'lerin ülke genelinde şekilde kullanımının yaygınlaşması sebebiyle yerli sistem altyapısı ve yazılımının geliştirilmesi çalışmalarına önem vermiştir. Yapılan Ar-Ge çalışmaları kapsamında bu sistemlerin kurulumunda yerli ürünler ve yazılımların kullanımında önemli artışlar görülmüştür (Ayдын vd., 2017).

KOHİTS'lerin birçok il ve ilçe yolunda yaygın şekilde kullanılmaya başlaması, sistemlerin performansının test edilmesi konusunda yeni ve etkin test yöntemlerinin geliştirilmesini ön plana çıkarmıştır. Mevcut literatürden de görüldüğü üzere ne yazık ki bu sistemlerin çalışma prensibi ve performansını değerlendiren uygulama tabanlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında, KOHİTS'lerin performans ölçümlerinin nasıl yapılacağı konusunda her türlü işlem adımını ve içerisinde 3 farklı ortalama hız ölçüm tekniğini içeren genel bir performans ölçüm metodu yapılan saha gözlemleri ile önerilmiştir. Bu amaçla, çalışma kapsamında belirlenen tüm işlem adımları hakkında detaylı bilgi verebilmek için seçilen 2 pilot kentteki toplam 12 farklı KOHİTS uygulamasının kurulumdan sonra işletmeye açılmadan önce performans ölçümleri yapılarak; önerilen metod hakkında her türlü gerekli detayı içeren kapsamlı bir doküman hazırlanmıştır.

Koridor Ortalama Hız İhlal Tespit Sistemleri (KOHİTS)

Koridor Hızı İhlal Tespit Sistemleri (KOHİTS), Türkiye’de “Trafik Elektronik Denetleme Sistemi (TEDES)” ya da “Elektronik Denetleme Sistemi (EDS)” olarak adlandırılan akıllı denetim sistemleri içerisinde yer alan ve sürücülerin incelenen bir koridor boyunca ortalama hızlarını tespit etmek amacıyla geliştirilen sistemlerdir. Bu sistemler, sürücüler ya da uygulayıcılar tarafından genellikle “hız koridoru” adlandırılmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kapsamında geliştirilen bu sistemler, kurulu olduğu yol kesimi boyunca araçların hız limitlerinde ortalama bir hızla hareket etmesini

sağlayarak yollarda can ve mal güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sistemler çalışma prensibi gereği düzenli ve güvenli trafik akışını temin etmek için kurallara uymayan sürücülerini tespit ederek; sürücülerin hız limitlerine riayet etmesi için cezai bir yaptırım uygulanmasını sağlamaktadır. KOHİTS’ler gelişen teknoloji, altyapı imkânları ve AUS’lara verilen önemin artması ile birlikte Elektronik Denetleme Sistemleri bünyesinde Türkiye genelinde etkin şekilde uygulanmaktadır. Bu sistemler kurulu oldukları yol kesimlerinde araçların aşırı hızlı (limit üstü) gitmesini kontrol altına alarak düzenlemekte ve yol güvenliğini artırarak hıza bağlı trafik kazalarını önlemeyi amaçlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. KOHİTS’lerin genel yapısına ait örnek (a) karşıdan ve (b) üstten 3B görseller.

KOHİTS’ler, Türkiye’de kaza oluşumu şehirlerarası yollardaki belirli koridorlarda, açısından riskli görülen şehiriçi ya da koridor başlangıcı ve bitişine yerleştirilen plaka

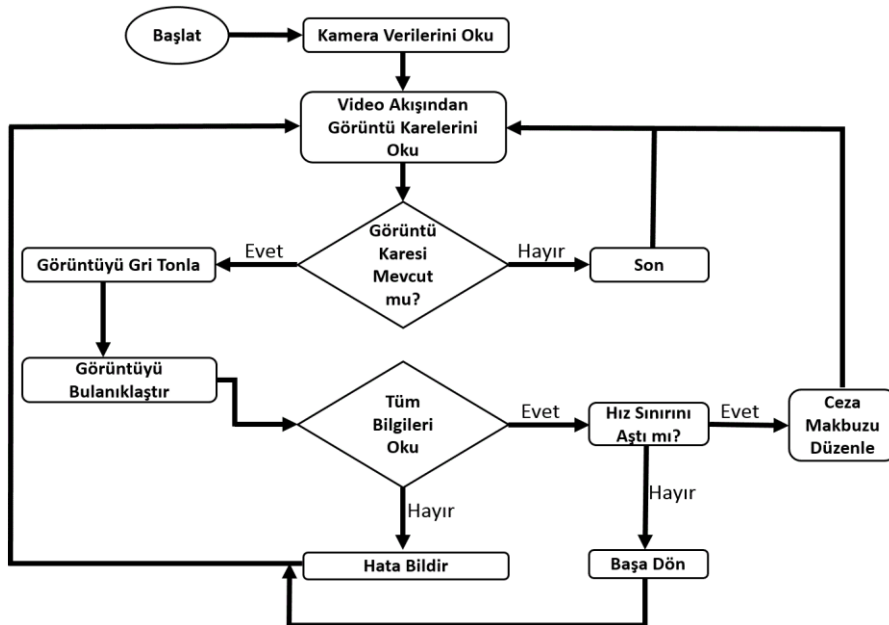
okuma kameraları (taklar) ve sistem yazılımı yardımıyla ortalama hız limitlerine uymayan araçları 7 gün 24 saat kesintisiz olarak (sistemsel hata, bakım onarım vb. durumlar hariç) tespit etme özelliğine sahiptir. Bu sistemler, koridorların başlangıç ve bitiş noktasına yerleştirilen platformlar, platform üzerinde plaka okuyan kameralar, merkezle bağlantıyı sağlayan kablosuz ya da kablolu bağlantı altyapısı, sistem yazılımı, yol üzerindeki tüm uyarı levhaları ve sistemin kontrol edildiği bir merkezden oluşmaktadır (ISSD, 2019; Kapsch, 2019; TDS, 2019; ISBAK, 2019; Platar, 2019; Vendeka, 2019). Sistemin çalışma prensibine göre ilk olarak koridorun başlangıç ve bitiş noktalarındaki platform üzerine yerleştirilen kameralar koridora giren ve çıkan araçların plakasını okumaktadır. Sonrasında kameralar tarafından fotoğraflanan giriş ve çıkıştaki araç görüntüleri ve zaman bilgileri kaydedilerek kablosuz ya da kablolu bağlantı ile merkezdeki yazılıma iletilmektedir. Merkezdeki yazılım gelen zaman ve mesafe bilgilerini kullanarak koridordan geçen araçların ortalama hızlarını (v_{ort}), hesaplamaktadır. Sistem bu hesap sırasında Denklem 1’de verilen ortalama hız hesabı bağıntısını kullanmaktadır.

$$v_{ort} = \frac{L}{t_{son} - t_{ilk}} * 3.6 \quad (1)$$

Burada;

v_{ort} :Koridordaki aracın ortalama hızı (km/sa)
 L :Koridorun uzunluğu (m)
 $t_{son} - t_{ilk}$:Koridoru kullanan araçların giriş/çıkış zamanları arasındaki fark (sn).

KOHİTS’lerin performansı üzerindeki en önemli parametreler, koridor uzunluğunun doğru belirlenmesi ve giriş/çıkış sürelerinin hassas şekilde ve doğru ölçülmesidir. Koridordan geçen araçların giriş ve çıkış süreleri arasındaki zaman farkı ($t_{son} - t_{ilk}$) ile plakaları okuyan kameraların plaka okuma açıları arasındaki mesafenin (L) hassas ve doğru belirlenmesi, sistemin ortalama hızlarının (v_{ort}) doğru hesaplanması açısından oldukça önemlidir. Sistemdeki yazılım yardımıyla ortalama hızların tespit edilmesinden sonra yazılım hız ihlali yapan araçları belirlemektedir. İhlal yapan araçlar belirlendikten sonra yazılım, ihlali yapan araç ya da araçların ortalama hızlarını (km/sa), ihlalin zamanını (tarih ve saat) ve yerini, koridor mesafesini ve yönünü, hız sınırı vb. tüm bilgileri ceza makbuzuna aktararak operatörün onayına sunmaktadır. Kontrol merkezinde görev yapan operatör, hız ihlali ile ilgili makbuzda yer alan tüm bilgileri detaylı olarak kontrol ettikten ve onayladıktan sonra cezai işlemin sürücülere tebliğ edilmesi aşamasına geçilmektedir. Sistemin genel olarak çalışma yapısı Şekil 2’de verilen akış şeması ile özetlenebilmektedir.



Şekil 2. Sistem yazılımının çalışma prensibine ait özet akış şeması.

KOHİTS'ler ile koridordan geçen araçların ortalama hızlarının tespit edilmesinin yanı sıra trafik akışı ve güvenliği açısından önem arz eden ve aşağıda verilen bazı diğer hususları da belirlenebilmektedir. Bunlar:

- Farklı şerit sayılarına sahip yollarda koridor içerisinde sürekli olarak peş peşe giden ya da çok kısa süre içerisinde birçok kez geçen araçların (olağan dışı) belirlenebilmesi,
- Kurulu olduğu koridorlarda trafikte uygunsuz hareketler (makas atma, drift yapma vb.) yapan ya da trafik akışını bozarak güvenliği tehlikeye atan araç hareketlerinin belirlenebilmesi,
- Yüz tanıma özelliği olan sistemlerde ön koltukta yer alan şoför ve yolcunun kimliklerinin belirlenebilmesi,
- Emniyet kemeri tespit özelliklerinin olduğu sistemlerde ön koltukta yolculuk yapanların emniyet kemeri takıp takmadığının belirlenebilmesi,
- Çalıntı, aranan ya da emniyet güçlerinden kaçan araçların belirlenebilmesidir.

KOHİTS'ler birçok özelliği bünyesinde bulundurması ve trafikte çok önemli bir işleve sahip olması nedeniyle dışarıdan gelebilecek müdahalelere ya da oluşabilecek arızalara karşı kendisini koruma altında tutmaktadır. Sistemde oluşabilecek olası bir arıza ya da yetkili olmayan kişilerin sisteme dışarıdan müdahale etmeye çalışması durumunda merkeze sesli ve görsel uyarı göndererek bilgilendirme yapabilmektedir (ISSD, 2019; Kapsch, 2019; TDS, 2019; Kistler, 2019; Moxa, 2019). Bu özellik, sistemde güvenliği ön planda tutmak amacıyla dışarıdan yapılabilecek müdahalelere karşı tasarım aşamasında ön planda tutulan önemli bir konudur. Sistemin çok karmaşık, detaylı ve elektronik bir altyapıya sahip olmasından dolayı belirli aralıklarla kontrol testlerinin yapılarak

sistemin ve tüm alt birimlerinin doğru çalışıp çalışmadığının kontrolünün muhakkak düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

Bu sistemler kurulu olduğu yol kesimlerinde birçok fayda sağlamaktadır. Bu faydalardan en önemlileri ise aşağıda verilen şekilde özetlenebilmektedir (Kapsch, 2019; Montella vd., 2015; TDS, 2019; Tedes Bilgi, 2019; ISSD, 2019; ISBAK, 2019; Platar, 2019; Vendeka, 2019). Bunlar:

- Koridor boyunca hız limitlerine uyulmasını sağlayarak yol güvenliğini arttırabilme,
- Trafikte aranan ya da trafiği tehlikeye atarak trafik kurallarına uygunsuz şekilde araç kullanan sürücülerini tespit edebilme,
- Koridorda araç sayımı ve yoğunluk ölçümleri yaparak, trafik planlama ve yönetimi için düzenli ve doğru veri sağlayabilme,
- Hız sınırlarında hareketi sağlayarak sürekli hızlanma ve yavaşlamalardan kaynaklı yakıt tüketimi, emisyon salınımı ve gürültüyü azaltabilme,
- Araçların ortalama bir hızda hareket etmesini sağlayarak araç hızlarında homojenliği sağlayabilmektir.

İncelenen Koridorlara Ait Genel Bilgiler

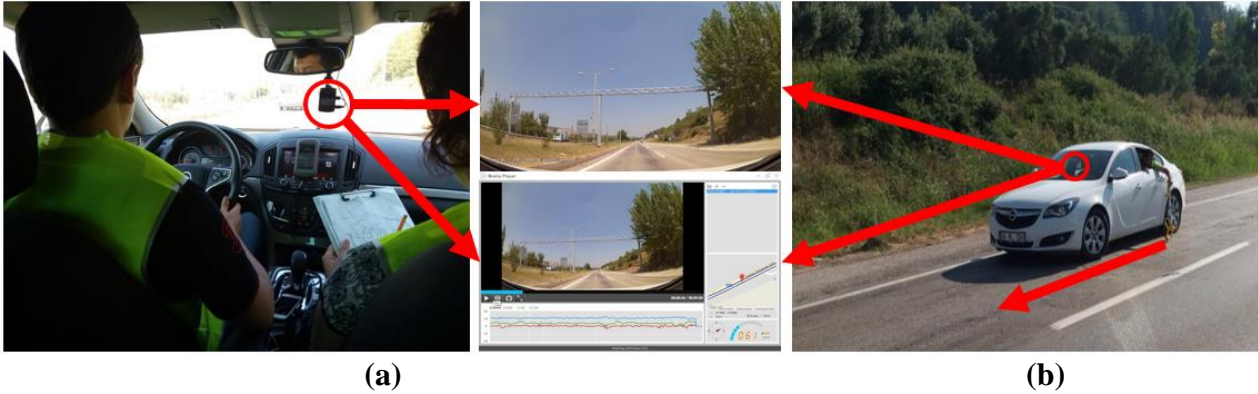
Çalışma kapsamında KOHİTS'lerin performansını önerilen yeni metot ile inceleyebilmek amacıyla 2 farklı pilot kentte (Gölbaşı/Adıyaman ve Toprakkale/Osmaniye) yer alan toplam 12 farklı KOHİTS uygulaması seçilmiştir (Şekil 3). Veriler seçilen KOHİTS'lerden her 2 pilot kentte de havanın aydınlık, yağışsız, yol yüzeyinin kuru olduğu hafta içi günlerde tüm gün boyunca yapılan saha gözlemlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma kapsamında seçilen 2 pilot kent.

Pilot kentlerdeki KOHİTS'lerde ortalama hızların efektif şekilde belirlenebilmesi amacıyla ilk olarak, en önemli işlem adımlarından birisi olan koridorların ortalama uzunlukları (L) hata payı en az olacak şekilde belirlenmiştir (Tablo 1-2). Koridor uzunluklarının ölçülmesi amacıyla 2 farklı ölçüm yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4). Birinci yöntemde, her bir koridorun uzunluk değerleri el tipi GPS kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci yöntemde ise araçların farklı şeritlerde

hareket etme durumları da irdelenerek; koridor uzunlukları tekerlekli mesafe ölçer kullanılarak ve koridor üzerinde aynı doğrultuda gidilerek ölçülmüştür. Araçların koridorlar boyunca yapacakları tüm farklı hareketler (farklı şerit kullanma, şerit değiştirme vb.) değerlendirilerek ve çok sayıda araç geçişi yapılarak uzunluk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen tüm uzunluk verileri birlikte değerlendirilerek her bir koridor için ortalama bir koridor uzunluğu hesaplanmıştır.

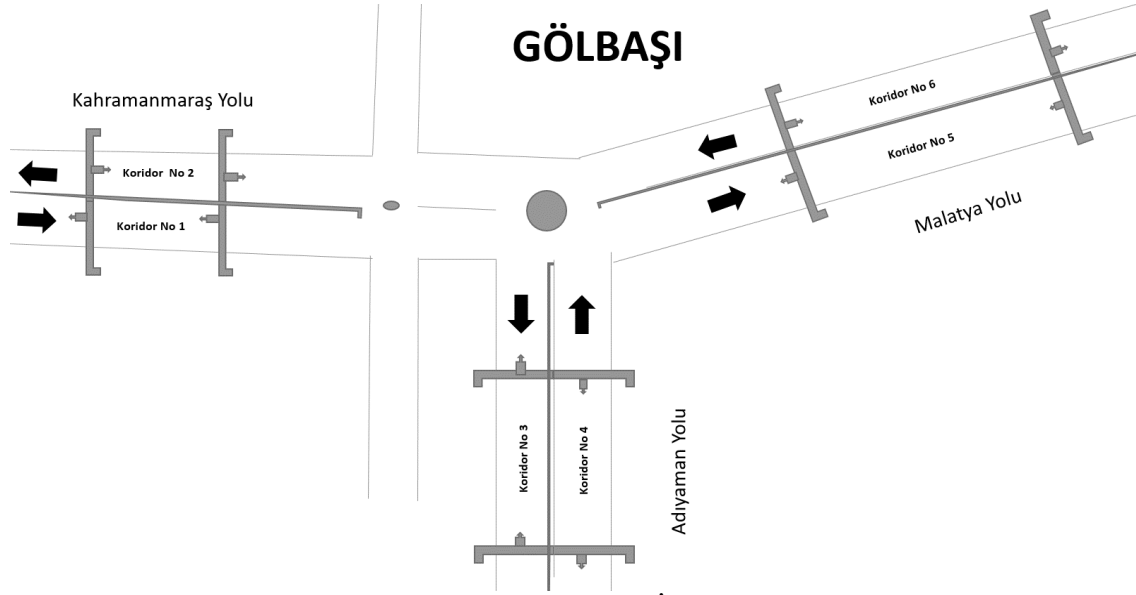


Şekil 4. Koridor uzunluklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan 2 farklı ölçüm yöntemi.

Pilot Kent 1: Gölbaşı/Adıyaman

Çalışmada ilk olarak Şekil 5'te görseli verilen ve Gölbaşı/Adıyaman'da 3 farklı güzergâh üzerinde yer alan toplam 6 (3 gidiş - 3 geliş) farklı KOHİTS incelenmiştir. İncelenen bu koridorların ortalama hız limiti yetkililer tarafından 70 km/sa olarak belirlenmiştir.

Koridorların güzergâhlarına ait görsel ve bu koridorlara ait uzunluk bilgileri ise sırasıyla Şekil 5 ve Tablo 1'de verilmiştir. İnceleme yapılan bu 6 farklı koridorda kurulan sistemlerin giriş ve çıkış noktalarına ait görseller ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Gölbaşı/Adıyaman'da bulunan KOHİTS'lerin güzergâhına ait görsel.

Tablo 1. İncelenen 6 koridorlara ait teknik özellikler.

KOHİTS NO	Koridor No	Hız Koridoru	Koridor Uzunluğu (m)	Şerit Sayısı	Yol Tipi	Kaplama Türü
1-2	Koridor 1	Giriş	1606	2	Bölünmemiş	Sathi
		Çıkış			Bölünmüş	
	Koridor 2	Giriş			Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmemiş	
3-4	Koridor 3	Giriş	1646	2	Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmemiş	
	Koridor 4	Giriş			Bölünmemiş	
		Çıkış			Bölünmüş	
5-6	Koridor 5	Giriş	3371	2	Bölünmemiş	
		Çıkış			Bölünmemiş	
	Koridor 6	Giriş			Bölünmemiş	
		Çıkış			Bölünmemiş	



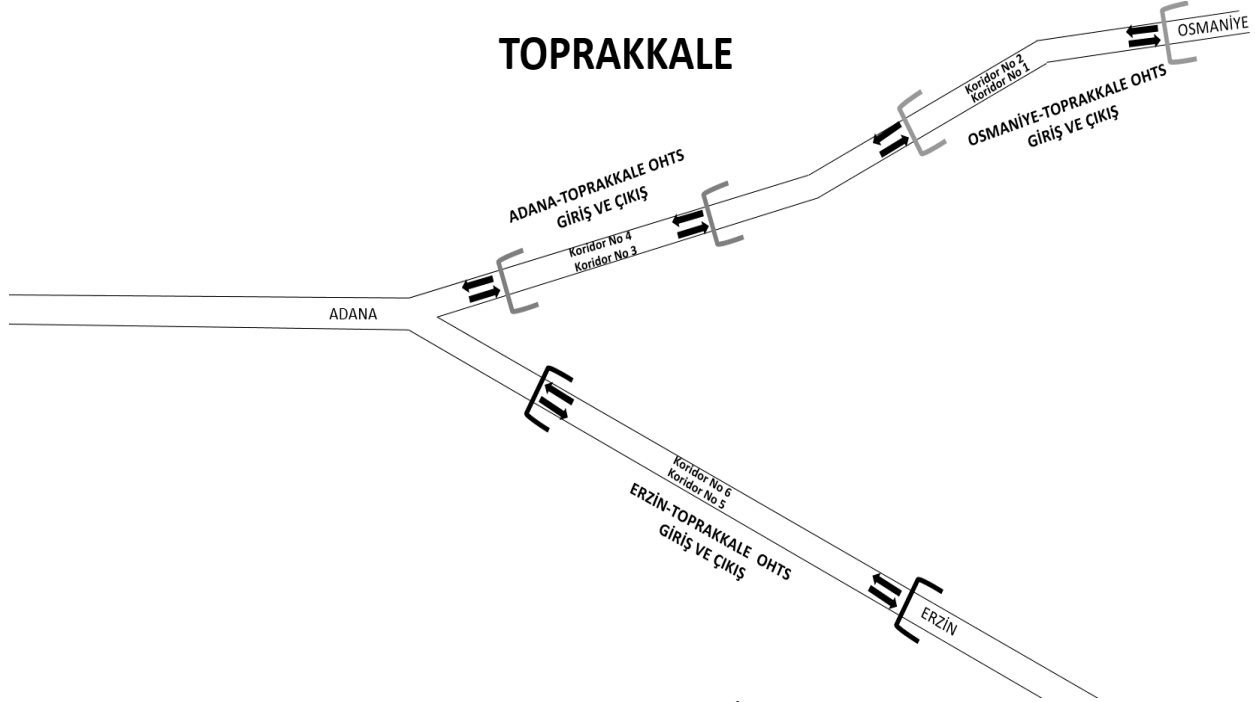


Şekil 6. Gölbaşı/Adıyaman'da bulunan 6 koridordaki KOHİTS'lerin giriş ve çıkış görüntüleri.

Pilot Kent 2: Toprakkale/Osmaniye

Çalışma kapsamında 2 numaralı pilot kent olarak Toprakkale/Osmaniye’de 2 farklı yol güzergâhı (D-400 ve D-817) üzerinde yer alan toplam 6 (3 gidiş - 3 geliş) farklı KOHİTS incelenmiştir. İncelenen bu koridorların ortalama hız limiti yine yetkililer tarafından 70 km/sa olarak

belirlenmiştir. Koridorların güzergâhlarına ait görsel ve bu koridorlara ait uzunluk bilgileri sırasıyla Şekil 7 ve Tablo 2’de verilmiştir. Toprakkale/Osmaniye’de yer alan 3 ayrı yol kesimindeki bu 6 farklı koridora kurulan KOHİTS’lerin giriş ve çıkışlarına ait görseller ise Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Toprakkale/Osmaniye’de bulunan KOHİTS’lerin güzergâhına ait görsel.

Tablo 2. İncelenen 6 koridora ait teknik özellikler.

KOHİTS NO	Koridor No	Hız Koridoru	Koridor Uzunluğu (m)	Şerit Sayısı	Yol Tipi	Kaplama Türü
1-2	Koridor 1	Giriş	1430	2	Bölünmüş	Sathi
		Çıkış			Bölünmüş	
	Koridor 2	Giriş			Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmüş	
3-4	Koridor 3	Giriş	1037	2	Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmüş	
	Koridor 4	Giriş			Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmüş	
5-6	Koridor 5	Giriş	1359	2	Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmüş	
	Koridor 6	Giriş			Bölünmüş	
		Çıkış			Bölünmüş	





Şekil 8. Toprakkale/Osmaniye’de bulunan 6 koridordaki KOHİTS’lerin giriş ve çıkış noktalarına ait görüntüler.

Verilerin Toplanması ve Analizi

Çalışma kapsamında, seçilen pilot kentlerdeki (Toprakkale ve Gölbaşı) koridorlarda kurulu olan ortalama hız (v_{ort}) tespit sistemlerinin performanslarını incelemek amacıyla saha çalışmalarında hız sabitleyici (cruise control) özelliği olan otomatik vites araçlar tercih

edilmiştir. Hız ölçümleri kapsamında araçlar arası marka farklılığını ortadan kaldırmak amacıyla aynı marka otomatik araçlar kullanılmıştır. Saha ölçümleri kapsamında otomatik araçların sabit ve değişken hızlarda (hız limiti, limit altı, limitin %10 üstü vb. kombinasyonlar) koridorlardaki hareketleri ile ortalama hız koridorlarının performansları test edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Hız sabitleyici özelliği olan otomatik araçlar kullanılarak (a) Gölbaşı/Adıyaman ve (b) Toprakkale/Osmaniye’deki KOHİTS’lerin performans ölçüm verilerinin toplanması.

Saha ölçümlerinden, araçların incelenen koridorlardaki ortalama hızlarını belirleyebilmek amacıyla her bir pilot kentte 45’er ölçümü kapsayacak şekilde 3 farklı ortalama hız ölçüm tekniği kullanılmıştır. Birinci ölçüm tekniği, sabit hızla gitme özelliğine sahip otomatik bir araçla yapılan ortalama hız ölçümüdür (Şekil 9). İkinci ölçüm tekniği, trafik akımı içerisinde araçların her zaman sabit hızla ilerlemesi mümkün olmadığı durumları da göz önünde

bulundurarak, (testlerde hız sabitleyicinin devre dışı olması durumu) görüntülerin incelenerek koordinatların belirlenebilmesi amacı ile GPS özelliği olan araç içi kamera yardımıyla yapılan ölçümdür (Şekil 10). Bu 2 ölçüm tekniğinden farklı olarak üçüncü teknik ise koridorun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yolculuk süresinin kronometre yardımıyla ölçülmesidir (Şekil 9b).



Şekil 10. GPS özelliği olan araç içi kamera ile elde edilen konum, süre ve hız verilerinin bilgisayar ortamında incelenmesi.

Bu 3 farklı teknik kullanılarak yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin analizi ile sistem yazılımının verdiği ortalama hız değerlerine ait sonuçlar Gölbaşı/Adıyaman'da kurulu olan KOHİTS'ler için Tablo 3'te, Toprakkale/Osmaniye için elde edilen değerler ise Tablo 4'te verilmiştir. KOHİTS'lere ait yazılımların hesapladığı ortalama hızlar çalışma kapsamında kullanılan 3 farklı yöntemle karşılaştırılırken Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) tarafından hazırlanan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun Ek 16'ncı Maddesinin Uygulanmasına İlişkin Usul ve Esaslar, Madde 9.14'te belirtilen "Gerekli ayarlar taşıt sürücülerinin lehine olacak şekilde ayarlanacak ve EDS 'nin ortalama hız ölçüm hatası 70 km/sa'ye kadar ± 3 km/s, 70 km/s üzerinde $\pm 3\%$ sınırları içerisinde olacaktır." hususuna göre irdelenerek karşılaştırma yapılmıştır (EGM, 208). Kanun maddesi uyarı uyarınca hız ölçüm hatası 70 km/s ye kadar ± 3 km/sa, 70 km/s üzerinde ortalama hızın $\pm 3\%$ 'ü kadar olması durumu dikkate alınmıştır. 3% durumu için hata sınırlarını belirlemek amacıyla Denklem 2'de verilen bağıntı yardımıyla gözlemlerde yapılan her bir ölçüm için $\pm \Delta_V$ (km/sa) hata payları hesaplanmıştır.

$$\Delta_V = \frac{V_S \times 3}{100} \quad (2)$$

Burada;

Δ_V : Hata payı (km/sa)
 V_S : Sistem yazılımının ölçtüğü hız (km/sa)

Tablo 3 ve 4'ten de görüldüğü üzere 3 farklı ortalama hız ölçü tekniği kullanılarak hesaplanan

ortalama hız değerleri (km/sa) ile ortalama hız hesabı yapan sistem yazılımının hesapladığı ortalama hızlar arasındaki farkın yukarıda belirtilen kural uyarınca önerilen hata paylarının altında değerler olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre ise çalışma kapsamında pilot olarak incelenen bu sistemlerin efektif çalıştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3. Gölbaşı/Adıyaman’da bulunan 6 KOHİTS’ten hesaplanan ortalama hızlar ile sistemin ortalama hızlarının karşılaştırılması.

Gözlem No	KOHİT S No	Mesafe (L) (m)	Ölçülen Yolculuk Süreleri (sn)			Sistemin Ölçtüğü Hız (V_S) (km/sa)	Hata Payı (Δ_V) (km/sa)	Diğer Yöntemlerin Ölçtüğü Hız (km/sa)			Hız Farklılığı (km/sa)		
			Sistem Yazılımı	GPS’li Araç İçi Kamera	Kronometre			Test Aracı (V_T)	Kronometre (V_K)	GPS’li Araç İçi Kamera (V_A)	(V_S-V_T)	(V_S-V_K)	(V_S-V_A)
1	1	1606	89	90	90	65 ^a	±3,00	66	64	65	-1	1	0
2			113	112	112	51 ^a	±3,00	52	52	52	-1	-1	-1
3			126	126	126	46 ^a	±3,00	47	46	47	-1	0	-1
4			158	158	158	37 ^a	±3,00	37	37	37	0	0	0
5			73	72	72	79 ^b	±2,37	81	81	81	-2	-2	-2
6			61	62	61	95 ^b	±2,85	97	94	97	-2	1	-2
7			69	69	69	84 ^b	±2,52	86	84	86	-2	0	-2
8			80	81	79	72 ^b	±2,16	74	73	74	-2	-1	-2
9			68	68	68	85 ^b	±2,55	86	85	86	-1	0	-1
10	2		111	111	112	52 ^a	±3,00	53	52	53	-1	0	-1
11			79	8	80	73 ^b	±2,19	74	73	74	-1	0	-1
12			74	75	73	78 ^b	±2,34	80	79	78	-2	-1	0
13			89	89	89	65 ^a	±3,00	67	65	66	-2	0	-1
14			125	126	126	46 ^a	±3,00	47	46	46	-1	0	0
15			157	157	158	37 ^a	±3,00	37	37	36	0	0	1
16			66	67	67	88 ^b	±2,64	88	86	88	0	2	0
17			79	80	80	73 ^b	±2,19	74	72	74	-1	1	-1
18			3	78	77	79	76 ^b	±2,28	74	75	74	2	1
19	64	63		64	93 ^b	±2,79	91	93	91	2	0	1	
20	108	110		108	55 ^a	±3,00	53	55	53	2	0	2	
21	120	123		121	49 ^a	±3,00	48	49	47	1	0	2	
22	151	154		152	39 ^a	±3,00	38	39	37	1	0	2	
23	59	59		59	100 ^b	±3,00	98	100	98	2	0	2	
24	76	79		76	78 ^b	±2,34	76	78	76	2	0	2	
25	4	85		78	85	70 ^a	±3,00	70	70	71	0	0	-1
26		63		62	63	94 ^b	±2,82	93	94	92	1	0	2
27		109	108	110	54 ^a	±3,00	54	54	52	0	0	2	
28		80	76	77	74 ^b	±2,22	74	76	74	0	-2	0	
29		124	121	123	48 ^a	±3,00	47	48	47	1	0	1	
30		153	152	153	39 ^a	±3,00	38	39	37	1	0	2	
31		59	59	59	100 ^b	±3,00	100	101	99	0	-1	1	
32		5	168	168	168	72 ^b	±2,16	72	72	71	0	0	1
33			119	119	119	102 ^b	±3,06	102	102	101	0	0	1
34	230		231	231	53 ^a	±3,00	53	53	52	0	0	1	
35	325		325	325	37 ^a	±3,00	37	37	37	0	0	0	
36	183		183	183	66 ^a	±3,00	66	66	66	0	0	0	
37	142		141	141	85 ^b	±2,55	86	86	85	-1	-1	0	

38	6	3371	260	260	259	47 ^a	±3,00	47	47	47	0	0	0
39			167	167	167	73 ^b	±2,19	72	73	72	1	0	1
40			113	112	113	107 ^b	±3,21	107	108	107	0	-1	0
41			229	229	229	53 ^a	±3,00	52	53	52	1	0	1
42			322	323	323	38 ^a	±3,00	37	38	37	1	0	1
43			183	183	183	66 ^a	±3,00	66	66	66	0	0	0
44			141	140	141	86 ^b	±2,58	86	86	86	0	0	0
45			259	259	259	47 ^a	±3,00	46	47	46	1	0	1

a: Hız limiti 70 km/sa'ten düşük olan saha ölçümleri; b: Hız limiti 70 km/sa'ten yüksek olan saha ölçümleri.

Tablo 4. Toprakkale/Osmaniye’de bulunan 6 KOHİTS’ten hesaplanan ortalama hızlar ile sistemin ortalama hızlarının karşılaştırılması.

Gözlem No	KOHİT S No	Mesafe (L) (m)	Ölçülen Yolculuk Süreleri (sn)			Sistemin Ölçtüğü Hız (V _S) (km/sa)	Hata Payı (Δ _V) (km/sa)	Diğer Ölçüm Yöntemlerinin Ölçtüğü Hız (km/sa)			Hız Farklılığı (km/sa)		
			Sistem Yazılımı	GPS’li Araç İçi Kamera	Kronometre			Test Aracı (V _T)	Kronometre (V _K)	GPS’li Araç İçi Kamera (V _A)	(V _S -V _T)	(V _S -V _K)	(V _S -V _A)
1	1	1430	51	51	51	101 ^b	±3,03	101	101	101	0	0	0
2			59	59	59	87 ^b	±2,61	87	87	87	0	0	0
3			49	49	49	105 ^b	±3,15	105	105	105	0	0	0
4			47	48	47	109 ^b	±3,27	109	110	108	0	-1	1
5			52	52	52	99 ^b	±2,97	99	99	99	0	0	0
6			62	62	62	83 ^b	±2,49	83	83	82	0	0	1
7			77	77	77	67 ^a	±3,00	67	67	66	0	0	1
8			46	47	46	111 ^b	±3,33	111	112	112	0	-1	-1
9	2		44	44	44	116 ^b	±3,48	117	117	117	-1	-1	-1
10			59	59	59	87 ^b	±2,61	87	87	87	0	0	0
11			42	42	42	122 ^b	±3,66	122	123	121	0	-1	1
12			48	48	48	108 ^b	±3,24	108	107	108	0	1	0
13			53	53	53	97 ^b	±2,91	97	97	97	0	0	0
14			38	38	38	136 ^b	±4,08	136	135	136	0	1	0
15			77	76	77	67 ^a	±3,00	67	67	67	0	0	0
16			3	35	35	35	106 ^b	±3,18	107	107	106	-1	-1
17	49	48		49	76 ^b	±2,28	76	76	77	0	0	-1	
18	43	43		43	87 ^b	±2,61	87	87	86	0	0	1	
19	32	32		32	116 ^b	±3,48	116	117	117	0	-1	-1	
20	39	39		39	95 ^b	±2,85	95	96	94	0	-1	1	
21	41	41		41	90 ^b	±2,70	91	91	90	-1	-1	0	
22	56	56		57	67 ^a	±3,00	67	65	67	0	2	0	
23	4	35		35	35	107 ^b	±3,21	107	107	106	0	0	1
24		48	48	49	77 ^b	±2,31	77	76	76	0	1	1	
25		38	38	39	97 ^b	±2,91	97	96	96	0	1	1	
26		43	43	43	87 ^b	±2,61	87	87	87	0	0	0	
27		45	45	45	83 ^b	±2,49	83	83	83	0	0	0	
28		30	30	30	126 ^b	±3,78	127	124	126	-1	2	0	

29			41	41	41	91 ^b	±2,73	91	91	90	0	0	1
30			56	55	56	67 ^a	±3,00	67	67	67	0	0	0
31	5	1359	44	44	44	112 ^b	±3,36	113	111	111	-1	1	1
32			42	42	42	116 ^b	±3,48	117	116	116	-1	0	0
33			55	55	55	89 ^b	±2,67	89	89	89	0	0	0
34			74	73	73	66 ^a	±3,00	67	67	66	-1	-1	0
35			64	63	64	77 ^b	±2,31	77	76	76	0	1	1
36			39	39	39	125 ^b	±3,75	125	125	123	0	0	2
37			37	37	37	132 ^b	±3,96	132	132	132	0	0	0
38			6	1359	50	50	50	98 ^b	±2,94	99	98	98	-1
39	54	55			54	90 ^b	±2,70	90	91	89	0	-1	1
40	59	59			59	83 ^b	±2,49	83	83	82	0	0	1
41	73	73			73	67 ^a	±3,00	67	67	66	0	0	1
42	64	63			64	77 ^b	±2,31	77	76	76	0	1	1
43	46	46			46	107 ^b	±3,21	107	106	106	0	1	1
44	38	38			38	129 ^b	±3,87	129	129	128	0	0	1
45	42	42			42	117 ^b	±3,51	117	116	116	0	1	1

a: Hız limiti 70 km/sa'ten düşük olan saha ölçümleri; b: Hız limiti 70 km/sa'ten yüksek olan saha ölçümleri

Sonuç ve Değerlendirmeler

Mevcut çalışmalar ve kaza istatistikleri detaylı olarak incelendiğinde, trafik kazaları üzerinde en önemli faktörlerden birisi sürücülerin hız limitlerine uymayarak aşırı hızlı hareket etmesidir. Özellikle yol kenarında veya üzerindeki farklı özellikteki uyarı sistemlerinin sürücülerin mevcut hızlarını hız limitlerine uygun şekilde düzenlemesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte trafikte hız limitlerinin üzerinde hareket eden araçların tespiti ve çeşitli araçlarla sınırlandırılması amacıyla Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) verilen önem daha da artmıştır. Bu amaçla teknolojinin gelişmesi ile birlikte ilk olarak araç hızlarını anlık olarak ölçebilen radar sistemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla özellikle trafik kazaları üzerinde en önemli parametrelerden birisi olan aşırı hızın tespiti ve cezai yaptırım uygulayarak kontrolü üzerine son yıllarda anlık hız ölçen radar sistemleri geliştirilmiştir. Anlık hız ölçebilen sabit, mobil ve gezici radar sistemleri, yerleri sürücüler tarafından bilindiğinde sürücülerin hızlarını sadece kurulu olduğu çok kısa bir mesafe de anlık olarak denetleyebilmekte; öncesi ve sonrasında ne yazık ki kontrol edememektedir. Dolayısıyla bu tür durumlarda sürücüler sadece radar olan yol kesimlerinde yavaşlamakta, sonrasında tekrar hızlanarak hareketlerine devam etmektedirler. Belirtilen bu soruna çözüm geliştirmek amacıyla ise son yıllarda Dünya’da ve Türkiye’de etkin olarak kullanılan ve uzunluğu belirlenen bir koridor boyunca ortalama araç hızlarını tespit eden Koridor Ortalama Hız Tespit Sistemleri (KOHİTS) geliştirilmiştir. Bu sistemler, sağladığı birçok fayda sebebiyle son yıllarda birçok ülke de şehiriçi ve şehirlerarası yollarda etkin ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

KOHİTS’ler Türkiye’de son yıllarda AUS’lara verilen önemin artması ve Emniyet Genel Müdürlüğü’nün (EGM) hıza bağlı trafik kazalarını azaltma politikası kapsamında Türkiye genelinde yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda artan talep, yerli birçok

yazılım firmasını sistemin kurulması ve işletilmesi konusunda da motive etmiştir. Mevcut literatürde KOHİTS’lerin çalışma ve performans ölçümünün nasıl yapılacağına ilişkin uygulama tabanlı bir çalışma bulunmadığı için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde bu konudaki boşluğu doldurabilmek amacıyla çalışma kapsamında, KOHİTS’lerin performans ölçümlerinin nasıl yapılacağı konusunda her türlü işlem adımını ve ölçüm adımlarını kapsayan ve içerisinde 3 farklı ortalama hız ölçüm tekniğini (Test aracı, Kronometre ve GPS özellikli araç içi kamera) içeren bir performans ölçüm metodu önerilmiştir. Önerilen bu yeni test metoduna ait çalışmada belirlenen tüm işlem adımları hakkında detaylı bilgi verebilmek için seçilen 2 pilot kentteki (Gölbasi/Adıyaman ve Toprakkale/Osmaniye) toplam 12 farklı KOHİTS’in işletmeye açılmadan önceki ortalama hız tespiti ve çalışma performanslarına ait saha ölçümleri yapılmıştır. Saha ölçümleri kapsamında her bir pilot kentten 45’er adet olmak üzere 12 farklı KOHİTS’ten toplam 90 ortalama hız ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden, incelenen 12 farklı koridorda sistem yazılımının ölçtüğü ortalama hızlar ile 3 farklı ölçüm tekniği kullanılarak yapılan ortalama hız ölçümleri arasındaki farkın EGM tarafından hazırlanan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu’nun Ek 16’ncı Maddesinin Uygulanmasına İlişkin Usul ve Esaslar, Madde 9.14’te belirtilen 70 km/sa’ye kadar ± 3 km/s, 70 km/s üzerinde $\pm\%3$ sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan ölçümlerden, çalışma kapsamında önerilen bu genel performans ölçüm metodunun sistemin verdiği ortalama hız değerini metot içerisindeki 3 farklı ortalama hız ölçüm tekniği ile kontrol etmesi ve sonuçların birbirine yakın çıkması, önerilen metodun KOHİTS’lerin performans ölçümlerinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi sonucunu net şekilde ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, çalışma kapsamında önerilen performans ölçüm metodunun KOHİTS’lerin performans ölçümlerinin efektif ve detaylı bir şekilde yapılmasında etkin bir rol oynayacağını ve kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Teşekkür

Yazarlar çalışmaya olan desteklerinden dolayı Tekbiz Teknoloji Ürünleri ve Elektronik San. Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- Aarts, L., van Schagen, I., 2006. Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accid. Anal. Prev.*, 38, 215–224.
- Aydın, M. M., Köfteci, S., Akgöl, K., Yıldırım, M. S. (2017). Utilization of a new methodology on performance measurements of red light violations detection systems, *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 9(1), 32-41.
- Bates, L., Allen, S., Watson, B. (2016). The influence of the elements of procedural justice and speed camera enforcement on young novice driver self-reported speeding, *Accident Analysis & Prevention*, 92, 34-42.
- Bella, F. (2013). Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement, *Accident Analysis & Prevention*, 50, 251-262.
- Carnis, L., Blais, E. (2013). An assessment of the safety effects of the French speed camera program, *Accid. Anal. Prev.* 51, 301–309.
- Cascetta, E., Punzo, V., Montanino, M. (2011). Empirical evidence of speed management effects on traffic flow at freeway bottleneck, *Transport. Res. Rec.*, 2260, 83-93.
- Charlesworth, K., (2008). The effect of average speed enforcement on driver behaviour. In *Road Transport Information and Control - RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference*, Manchester.
- Collins, G., McConnell, D. (2008). Speed harmonisation with average speed enforcement, *Traffic Eng. Control*, 49 (1), 6–9.
- DaCoTA (2012). Speed Enforcement. Deliverable 4.8 of the EC FP7 Project DaCoTA.
- Emniyet Genel Müdürlüğü (2018). Trafik Hizmetleri Başkanlığı 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun Ek 16'ncı Maddesinin Uygulanmasına İlişki Usul ve Esaslar,[Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019]
http://www.trafik.gov.tr/SiteAssets/Trafik%20Kitap%20C4%B1k/Mevzuat/Ek16_usul_esas_18.11.2016.pdf
- Fleiter, J., Lennon, A., Watson, B. (2010). How do other people influence your driving speed? Exploring the 'who' and the 'how' of social influences on speeding from a qualitative perspective, *Transport. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav.*, 13(1), 49–62.
- Hauer, E. (2009). Speed and safety, *Transport. Res. Rec.*, 2103, 10–17.
- Hu, Wen, Anne, T. McCartt (2016). Effects of automated speed enforcement in Montgomery County, Maryland, on vehicle speeds, public opinion, and crashes. *Traffic injury prevention*, 17(1), 53–58.
- İlgaz, A., Saltan, M. (2017). Ortalama hız tespit sistemi ve yol güvenliği etkileri üzerine bir literatür taraması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 457-472.
- ISBAK (2019). Elektironek denetleme sistemleri, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
<http://isbak.istanbul/akilli-ulasim-sistemleri/elektronik-denetleme-sistemi/hizkoridor-ihlal-tespit-sistemi/>
- ISSD (2019). Koridor ortalama hız tespiti, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
<http://www.issd.com.tr/tr/18924/Koridor-Hizi-Ihlal-Tespit-Sistemi>
- Jones, A., Sauerzapf, V., Haynes, R. (2008). The effects of mobile speed camera introduction on road traffic crashes and casualties in a rural county of England. *J. Safety Res.*, 39, 101–110.
- Kapsch (2010). Section Speed Enforcement: for road safety, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
https://www.kapsch.net/ktc/downloads/brochures/Kapsch-KTC-DS-Section_Speed_Enforcement-EN-WEB?lang=en-US
- Kistler (2019). Corridor average speed enforcement, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
<https://www.kistler.com/en/applications/sensor-technology/weigh-in-motion/>
- Koy, T., Benz, S., (2009). Automatic Time-Over-Distance Speed Checks Impacts on Driving Behaviour and Traffic Safety. In *6th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, Stockholm.
- Lynch, M., White, M., Napier, R. (2011). Investigation into the use of point-to-point speed cameras. NZ Transport Agency Research Report 465, Wellington.
- Malenstein, J., 1997. Automated Video Speed Enforcement and Trajectory Control Combined With Fully Automated Processing. *Dutch National Police Agency, Traffic and Transport Division*, Driebergen, Netherlands.
- Montella, A., Andreassen, D., Tarko, A., Turner, S., Mauriello, F., Imbriani, L.L., Romero, M. (2013). Crash databases in Australasia, the European Union, and the United States: review and

- prospects for improvement, *Transport. Res. Rec.*, 2386, 128–136.
- Montella, A., Persaud, B., D'Apuzzo, M., Imbriani, L.L. (2012). Safety evaluation of an automated section speed enforcement system, *Transport. Res. Rec.* 2281, 16–25.
- Montella, A., Punzo, V., Chiaradonna, S., Mauriello, F., Montanino, M. (2015). Point-to-point speed enforcement systems: Speed limits design criteria and analysis of drivers' compliance, *Transportation research part C: emerging technologies*, 53, 1-18.
- Moxa (2019). Intelligent transportation systems, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019], <https://www.moxa.com/en/solutions/industry-focus/intelligent-transportation>. [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
- Neuman, T.R., Slack, K.L., Hardy, K.K., Bond, V.L., Potts, I., Alberson, B., Lerner, N. (2009). NCHRP Report 500: Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan: A Guide for Reducing Speeding-Related Crashes, vol. 23. Transportation Research Board, Washington, DC.
- Ng, C. F., Small, K. A. (2012). Tradeoffs among free-flow speed, capacity, cost, and environmental footprint in highway design. *Transportation*, 39(6), 1259-1280.
- NHTSA (2012). MMUCC Guideline: Model Minimum Uniform Crash Criteria, fourth ed. Report DOT HS 811 631.
- Platar (2019). Trafik elektornik denetleme sistemi, Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019]. <http://www.platar.com.tr/teedes/>
- Soole, D., Watson, B., Fleiter, J. (2013). Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: a review of the literature, *Accid. Anal. Prev.*, 54, 46–56.
- Soole, D.W., Watson, B.C., Fleiter, J.J. (2012). Point-to-Point Speed Enforcement. Austroads Report AP-R415-12, Sydney.
- Tedesbilgi (2019). Trafik elektornik denetleme sistemi, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019], <http://www.tedesbilgi.com/cozumlerimiz/hiz-koridoru/>
- Traffic Data Systems (TDS) (2019). Average Speed Enforcement, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019], <https://www.traffic-data-systems.net/>
- Vaitkus, A., Čygas, D., Jasiūnienė, V., Jateikienė, L., Andriejauskas, T., Skrodenis, D., Ratkevičiūtė, K. (2017). Traffic Calming Measures: An Evaluation of the Effect on Driving Speed, *Promet-Traffic&Transportation*, 29(3), 275-285.
- Vendeka (2019). Trafik elektornik denetleme sistemi, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019], <http://www.vendeka.com.tr/en/oursolutions/42-its-akll-ulam-sist> [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019].
- Wegman, F., Goldenbeld, C. (2006). Speed Management: Enforcement and New Technologies. Report R2006-5, SWOV, Leidschendam.
- WHO (2018). Global status report on road safety 2018, [Erişim Tarihi: 20 Ocak 2019], https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
- Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J., Le Brocque, R., Bellamy, N. (2010). Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2010, 11.
- Yannis, G., Louca, G., Vardaki, S., Kanelladis, G. (2013). Why do drivers exceed speed limits, *Eur. Transport Res. Rev.*, 5, 165–177.
- Zainuddin, N. I., Adnan, M. A., Md Diah, J. (2013). Optimization of speed hump geometric design: Case study on residential streets in Malaysia, *Journal of transportation engineering*, 140(3), 05013002.

Suggestion of a measurement method for performance measurements of corridor average speed enforcement systems (KOHİTS)

Extended abstract

Driving at high speeds on urban and rural roads results many deaths or injuries caused by large number of traffic accidents. This observed negative situation motivated researchers, officials and planners working in the field of transportation to develop new solutions to prevent drivers' too fast driving behaviors in traffic. For this purpose, different speed radar and speed measurement systems have been developed that can perform spot and average speed measurements to limit vehicle speeds in the world.

In Turkey, given importance to Intelligent Transportation Systems (AUS) is shown an increase in recent years and Corridor Average Speed Enforcement Systems (KOHİTS) started to be implemented in order to determine average speeds and to control vehicle speeds in corridors where excessive speeds are observed.

Within the scope of this study, a performance measurement method, including three different average speed measurement techniques (Test vehicle, stopwatch and GPS-in-car camera), is proposed. In order to give a detailed information about all the process steps, performance measurements of 12 different KOHİTS in 2 pilot cities (Gölbaşı/Adıyaman and Toprakkale/Osmaniye) were performed before opening to operation.

The average speed measurement differences between system software and 3 different methods in the examined 12 different corridors were found within the limits of ± 3 km/h up to 70 km/h and within the limits of $\pm 3\%$ over 70 km/h as suggested by the authorities. The obtained results suggest that this new method which is proposed within the study and includes length measurement, average speed measurement and some other measurement steps can be used effectively in the performance measurements of KOHİTS.

It was also observed from the field observations and measurements that the configuration of the system by an expert team, development of a good software and

utilization of a good technological infrastructure in the system are other very important parameters for the performance of the system.

In conclusion, results showed that suggested method can be used effectively for the performance analysis of the Corridor Average Speed Enforcement Systems. To get the higher performance, more detailed and effective methods should be improved. In the future work, we focused on this problem.

Keywords: Average speed, Speed measurement, Excessive speed, Traffic accidents, Speed limit.



Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması

Ali BOZER*

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri
bozerali@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3632-2605

Geliş: 02.05.2019, Revizyon: 23.05.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

Öz

Yapılara etkiyen deprem yüklerinin hesaplanmasında temel teşkil eden deprem tehlike haritaları, sismik tehlike hesapları ile ilgili yöntemlerindeki, deprem kaynaklarıyla ilgili veri tabanlarındaki ve yer hareketi tahmin denklemleri konularındaki gelişmeler neticesinde 1945 yılından günümüze kadar çeşitli değişikliklere uğramıştır. Bu gelişmelere paralel olarak güncellenen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği uyarınca hesaplanan kısa periyot ve 1.0 sn periyot bölgelerindeki spektral değerler bir önceki Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada her iki yönetmeliğe ait hesap adımları ve 81 il merkezinde elde edilen spektral değerler detaylı olarak karşılaştırılmış, hesaplanan veriler Türkiye haritasında işlenerek görsel olarak sunulmuştur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre hesaplanan tasarım spektral değerleri özellikle zayıf zeminlerde, yürürlükte olmayan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre hesaplanan değerlere kıyasla birçok il merkezimizde artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elastik Tasarım Spektrumu; Deprem Tehlike Haritası; TBDY 2018; DBYBHY 2007

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Deprem tehlike haritaları, deprem kaynaklarıyla ilgili veri tabanlarındaki bilgilerin artması, sismik tehlike hesapları ve yer hareketi tahmin denklemleri konularındaki gelişmeler nedeniyle değişikliğe uğramaktadır. Türkiye’de deprem tehlike haritaları 1945, 1947, 1963, 1972, 1996 ve 2019 yıllarında yürürlüğe girmiştir. 1945 ve 1947 yıllarında yayımlanmış deprem tehlike haritaları, geçmiş yıllarda meydana gelmiş depremlerin yarattıkları hasara göre büyük hasara uğramış bölgeler, tehlikeli yer sarsıntısı bölgeleri ve deprem hasarı meydana gelmeyen bölgeler şeklinde üç bölgeye ayrılarak düzenlenmiştir (Özmen, 2012). 1963 ve 1972 yıllarında yayımlanmış deprem tehlike haritaları ise deprem katalogları, deprem dağılım haritaları, hissedilen maksimum şiddet haritaları ve sismotektonik haritaları temel alınarak deterministik yöntem ile hazırlanmıştır. 1963 yılında yayımlanmış deprem tehlike haritasında birinci derece deprem bölgeleri, ikinci derece deprem bölgeleri, üçüncü derece deprem bölgeleri ve tehlikesiz bölgeler olmak üzere dört bölge tanımlanmıştır. 1973 yılında ise 1963 yılında yayımlanmış deprem tehlike haritasına dördüncü derece deprem bölgesi eklenerek ülkemiz toplamda beş bölgeye ayrılmıştır (Özmen, 2012). 1973 yılı ve öncesindeki haritalarda deprem bölgeleri Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK) şiddet cetveli esas alınarak belirlenmiştir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te (DBYBHY, 2007) tanımlanmış olan elastik tasarım spektrumuna temel teşkil eden 1996 yılında yayımlanan deprem tehlike haritasında öncüllerinden farklı olarak sismik tehlike hesabı istatistiksel yöntem (Cornell, 1968) ile belirlenmiştir. Bu yöntemde depremlerin tarihi, bölgenin jeolojik bilgileri ve sismik etkinliği deprem azalım ilişkileri ile birleştirilerek olası bir sismik faaliyetin olasılık değeri hesaplanmaktadır (Gülkan vd., 1993). Haritanın hazırlanması sırasında 17 sismik kaynak bölgesi belirlenmiş ve kaynak

bölgelerine ait sınırlar olasılıksal olarak tarif edilmiştir. Her bir kaynak için geçmişteki deprem verileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kaynak bölgelerde mühendislik yapılarını etkileyebilecek magnitüdü deprem olma olasılıkları yer hareketi tahmin denklemleri ile belirlenmiştir. Olası bir depremin etkinliğinin odaktan uzaklaştıkça nasıl değişeceği deterministik azalım ilişkisi bağıntıları (Joyner ve Boore, 1981) ile hesaplanmıştır. Bu çalışmanın neticesinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan etkin yer ivmesi değeri aralıkları temel alınarak birinci deprem bölgeleri, ikinci derece deprem bölgeleri, üçüncü derece deprem bölgeleri, dördüncü derece deprem bölgeleri ve beşinci derece deprem bölgeleri olmak üzere deprem tehlike haritası beş bölgeye ayrılmıştır.

1996 yılında yayımlanan deprem tehlike haritasının oluşturulmasında kullanılan sismik tehlike hesabına ilişkin modellerde, deprem veri tabanındaki eksiklikler, deprem kaynaklarının coğrafi sınırlarındaki belirsizlikler ve yeterli yerel veri bulunmaması sebebiyle batı ABD ölçümlerinden elde edilmiş azalım ilişkisi kullanılması neticesinde ortaya çıkan hatalar ise ihmal edilmiştir (Gülkan vd., 1993). 1996 yılından günümüze kadar olan süreçte sismik tehlike hesapları ile ilgili yöntemlerde, deprem kaynaklarıyla ilgili veri tabanlarında, deprem katalogları ve yer hareketi tahmin denklemleri konularında pek çok çalışma yapılmıştır. Bu gelişmeler neticesinde Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında desteklenen, “Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi” başlıklı proje (Akkar vd., 2014) ile deprem tehlike haritası güncellenerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ile birlikte 2019 yılında yürürlüğe girmiştir.

2019 yılında yürürlüğe giren deprem tehlike haritasının oluşturulmasına temel teşkil eden alan kaynakların belirlenmesi çalışmalarında, oluşturulan aktif fay veri tabanı (Emre vd., 2013) bilgileri ve deprem kataloğu (Kalafat vd., 2011) dikkate alınarak 105 adet alan deprem kaynağı

belirlenmiştir. Bu alan kaynaklara ait en büyük deprem büyüklükleri aletsel ve tarihsel deprem kataloglarının istatistiki olarak incelenmesi sonrası belirlenmiştir. Benzer sismotektonik yapıya sahip Türkiye, Yunanistan, İtalya ve Kaliforniya yer hareketi veri tabanlarını derleyerek büyük bir kuvvetli yer hareketi veri tabanı oluşturmuş ve bu veri tabanını en iyi temsil kabiliyetine sahip 4 yer hareketi tahmin denklemi farklı ağırlıklar verilerek olasılıksal sismik tehlike hesaplarında kullanılmıştır (Akkar vd., 2014). Bu çalışma neticesinde 50 yılda aşılma olasılığı %2, %10, %50 ve %68 olan yer hareketleri için deprem tehlike haritaları üretilmiştir. Bu yeni haritalarda en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, kısa periyot ve 1.0 sn periyotlarında %5 sönüme sahip spektral ivmeler cinsinden yer hareketi parametreleri coğrafi koordinatlarda elde edilerek deprem bölgesi kavramı ortadan kaldırılmıştır.

Literatürde DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) yönetmeliklerinin karşılaştırmasını içeren bir dizi çalışma bulunmaktadır. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) yönetmeliklerini; Erdem ve Bıkçe (2017) maksimum azaltılmış görelî kat ötelenmeleri açısından, Tunç ve Tanfener (2016) tasarımsal benzerlikleri ve farklılıkları açısından, Demir ve Kayhan (2017) maksimum ötelenme talepleri açısından, Öztürk vd. (2017) kolonlardaki etkin kesit rijitlikleri açısından, Aydın ve Günaydın (2017) çelik yapıların tasarımı açısından karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada DBYBHY (2007) ile TBDY (2018)'e göre tanımlanan %5 sönüme sahip elastik tasarım spektrumlarının kısa periyot ve 1.0 sn periyot bölgelerindeki spektral değerlerinin hesaplanması ve karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaç ile TBDY (2018)'de ZA ve ZE yerel zemin sınıfları; DBYBHY (2007)'de Z1 ve Z4 yerel zemin sınıfları dikkate alınarak 81 il merkezinde spektral değerler ilgili bölümlerde açıklandığı üzere her iki yönetmelik şartlarına göre hesaplanmıştır.

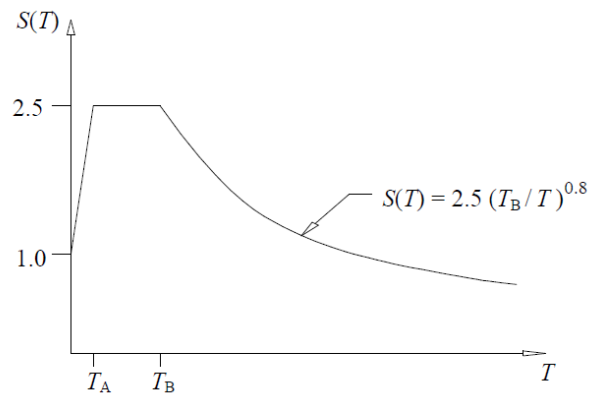
DBYBHY (2007) Elastik Tasarım Spektrumu

DBYBHY (2007)'de tasarıma esas teşkil eden elastik ivme spektrumu Şekil 1.'de verilen bina doğal titreşim periyoduna bağlı spektrum katsayılarının deprem bölgelerine göre belirlenen etkin yer ivmesi katsayısı ile çarpımından elde edilmektedir. Yönetmelikte belirtilen deprem bölgeleri, 18.04.1996 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda belirtilen deprem bölgeleridir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan etkin yer ivmesi değerleri birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgeleri için sırasıyla 0.4g, 0.3g, 0.2g ve 0.1g olarak belirlenmiştir. Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B yerel zemin sınıfına göre Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Spektrum karakteristik periyotları (DBYBHY, 2007 Tablo 2.4)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Yerel zemin sınıfları DBYBHY (2007) Tablo 6.1'de tanımlanmış zemin gurubu ve en üst zemin tabakası kalınlığına göre belirlenmektedir. Zemin gurupları standart penetrasyon darbe sayısı ($N/30$), relatif sıkılık, serbest basınç direnci ve kayma dalgası hızı değerleri dikkate alınarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1. DBYBHY (2007) spektrum katsayıları

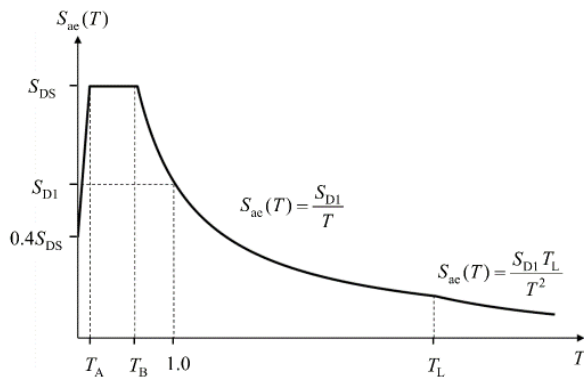
TBDY (2018) Elastik Tasarım Spektrumu

TBDY (2018)'de tasarıma esas teşkil eden elastik ivme spektrumu Şekil 2.'de verilmiştir. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1} değerleri Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{DS} = S_5 F_5$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (1)$$

Burada S_5 ve S_1 , 22.01.2018 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanan kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Harita spektral ivme katsayıları 50 yılda aşılma olasılığı %2, %10, %50 ve %68 olan yer hareketleri için ayrı ayrı elde edilebilmektedir. Denklem 1'de görüleceği üzere Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından okunana spektral değerler Şekil 3.'de verilen yerel zemin eki katsayıları ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları elde edilmektedir. Spektrum köşe periyotları DBYBHY (2007)'de olduğu gibi zemin gurubuna bağlı olarak sabit değil $T_B = S_{D1}/S_{DS}$, $T_A = 0.2 T_B$ eşitlikleri ile belirlenmektedir.



Şekil 2. TBDY (2018) tasarım ivme spektrumu

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_5					
	$S_5 \leq 0.25$	$S_5 = 0.50$	$S_5 = 0.75$	$S_5 = 1.00$	$S_5 = 1.25$	$S_5 \geq 1.50$
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 (Bkz.16.5).					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

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	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Şekil 3. TBDY (2018) yerel zemin etki katsayıları

TBDY (2018)'de yerel zemin etki katsayıları yerel zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Yerel zemin sınıfı tanımları ve değerlendirme parametreleri DBYBHY (2007)'den farklılık arz etmektedir. Yerel zemin sınıfları, üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, standart penetrasyon darbe sayısı ($N/60$) ve ortalama drenajsız kayma dayanımı değerleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

İllere Göre Tasarım İvme Spektral Değerleri

Bu çalışmada ülkemizdeki 81 il merkezi dikkate alınarak, TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1} değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. TBDY (2018)'de verilen yerel zemin sınıfı tanımları ve değerlendirme parametreleri DBYBHY (2007)'den farklılık arz etmektedir. Dolayısıyla herhangi bir coğrafi koordinat noktasındaki zemin sınıfını TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'ye göre belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmalarının yapılması gereklidir. Bu çalışmada 81 il kapsamında zemin araştırması yapılmadığından spektral değerler en sert zemin ve en yumuşak zemin koşulları için hesaplanmıştır. Bu bağlamda TBDY (2018)'de ZA ve ZE yerel zemin sınıfları; DBYBHY

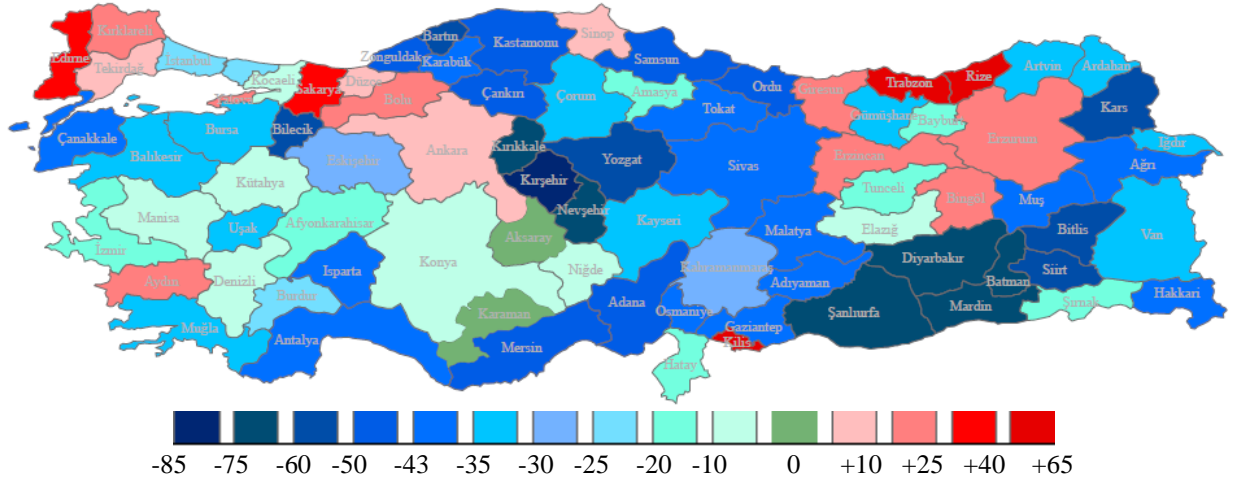
(2007)'de Z1 ve Z4 yerel zemin sınıfları dikkate alınmıştır.

İl merkezlerindeki coğrafi koordinatlar, TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'ye göre hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerleri ve bu değerlerdeki değişim

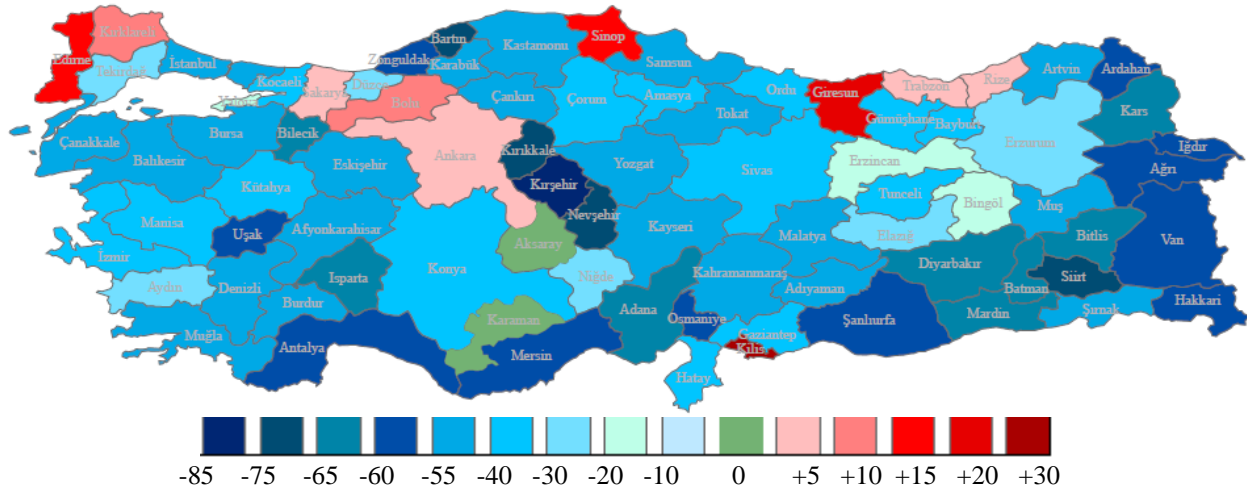
yüzdesi; sert zeminler (ZA, Z1 yerel zemin sınıfı) için Tablo 2'de, yumuşak zeminler için (ZE, Z4 yerel zemin sınıfı) Tablo 3'de verilmiştir. Yer darlığından dolayı Tablo 2 ve Tablo 3'de sadece spektral değerlerinde artış olan iller gösterilmiştir. Ayrıca hesaplanan değişim yüzdeleri Türkiye haritasında işlenerek Şekil 4-Şekil 7'de görsel olarak sunulmuştur.

Tablo 2. ZA (TBDY, 2018), Z1 (DBYBHY, 2007) Yerel Zemin Sınıfı için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi

İL	DBYBHY 2008		TBDY 2018		Değişim (%)			
	Enlem	Boylam	SDS (g)	SD1 (g)	SDS (g)	SD1 (g)	SDS	SD1
ANKARA	39.92	32.85	0.25	0.10	0.28	0.10	10.8	1.7
AYDIN	37.86	27.84	1.00	0.38	1.15	0.29	15.0	-24.5
BİNGÖL	39.06	40.77	1.00	0.38	1.28	0.34	28.2	-12.0
BOLU	40.58	31.58	1.00	0.38	1.22	0.34	22.1	-10.1
EDİRNE	41.68	26.56	0.25	0.10	0.34	0.11	36.0	11.1
ERZİNCAN	39.75	39.50	1.00	0.38	1.16	0.33	16.1	-12.5
ERZURUM	39.90	41.27	0.75	0.29	0.88	0.23	17.7	-19.7
GİRESUN	40.91	38.39	0.25	0.10	0.31	0.11	25.2	16.3
KIRKLARELİ	41.73	27.22	0.25	0.10	0.31	0.10	24.4	6.9
RİZE	41.02	40.52	0.25	0.10	0.41	0.10	65.2	3.8
SAKARYA	40.69	30.44	1.00	0.38	1.41	0.39	41.4	1.1
SİNOP	42.02	35.15	0.25	0.10	0.27	0.11	9.6	12.1
TEKİRDAĞ	40.98	27.52	0.75	0.29	0.80	0.22	6.4	-23.1
TRABZON	41.00	39.72	0.25	0.10	0.37	0.10	49.6	0.6
YALOVA	40.65	29.27	1.00	0.38	1.16	0.31	15.8	-19.3
KİLİS	36.72	37.12	0.25	0.10	0.39	0.12	54.0	26.8
DÜZCE	40.84	31.16	1.00	0.38	1.05	0.29	5.4	-25.1



Şekil 4. ZA(TBDY 2018), Z1 (DBYBHY 2007) Yerel Zemin Sınıfı, kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi (%)



Şekil 5. ZA(TBDY 2018), Z1 (DBYBHY 2007) Yerel Zemin Sınıfı, 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi (%)

TBDY (2018)'de ZA ve DBYBHY (2007)'de Z1 yerel zemin sınıfları dikkate alınarak yapılan karşılaştırmada TBDY 2018'e göre hesaplanan tasarım spektral ivme katsayısı değerlerinde DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan değerlere kıyasla ülke genelinde bir azalış gözlemlenmektedir (Şekil 4, Şekil 5).

Tablo 2'den görüleceği üzere kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri %5'in

üzerinde artış gösteren 17 ilimiz bulunmaktadır. Rize, Trabzon ve Kilis il merkezlerinde %50 ve üzeri artış tespit edilmiştir. Bu il merkezlerinin hepsi DBYBHY (2007)'de dördüncü derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Birinci derece deprem bölgesinde bulunan 7 ilimizde artış tespit edilmiştir. Bu illerden Bingöl'de %28.2, Bolu'da %22.1 ve Sakarya'da %41.4 artış dikkat çekicidir.

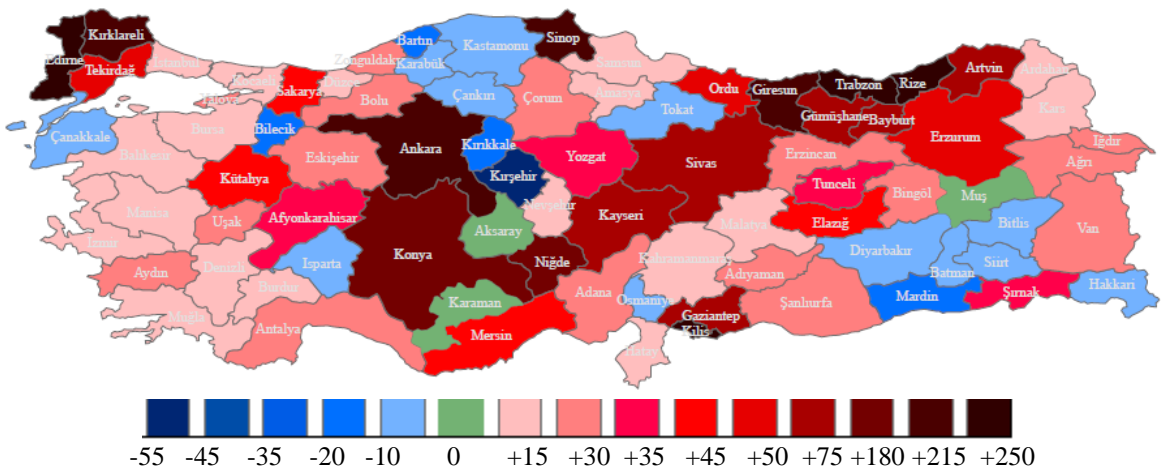
1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerleri, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri kadar artış göstermemiş hatta bazı illerde azalış göstermiştir. Azalış gösteren il merkezlerinin hepsinin DBYBHY (2007)'de birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde bulunduğu göz önüne alınırsa, TBDY

(2018)'e göre hesaplanan uzun periyoda geçiş periyodunun (T_B) şiddetli depremlerde DBYBHY (2007)'ye göre daha küçük olduğu sonucu çıkmaktadır.

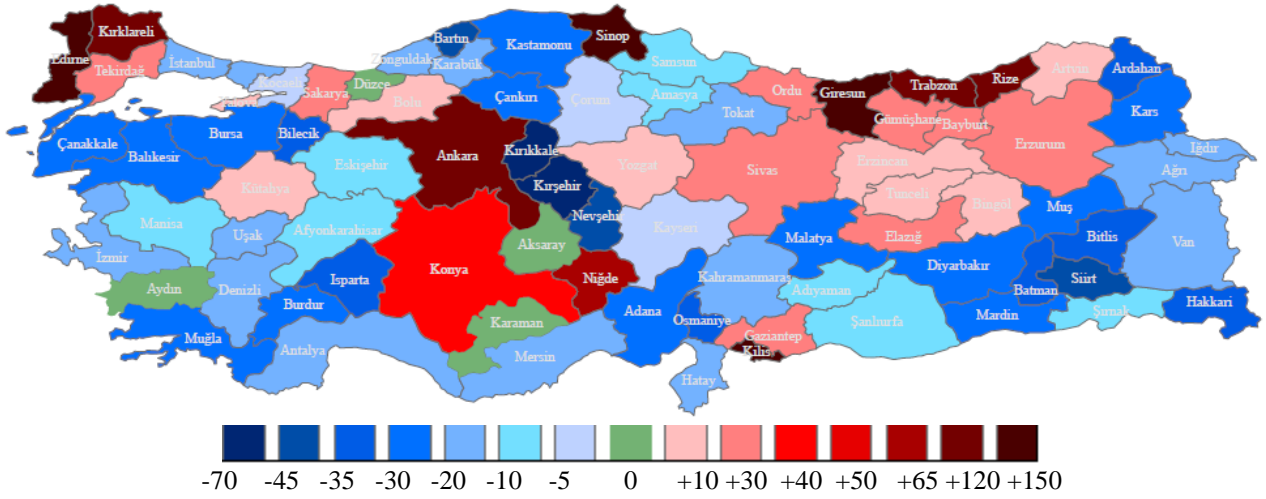
Tablo 3. ZE (TBDY, 2018), Z4 (DBYBHY, 2007) Yerel Zemin Sınıfı için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi

İL	DBYBHY 2008				TBDY 2018		Değişim (%)	
	Enlem	Boylam	SDS (g)	SD1 (g)	SDS (g)	SD1 (g)	SDS	SD1
ADANA	37.00	35.32	0.75	0.69	0.87	0.51	15.6	-25.9
ADİYAMAN	37.76	38.28	0.75	0.69	0.92	0.64	22.0	-7.9
AFYON	38.75	30.56	0.75	0.69	1.01	0.63	34.3	-8.6
AĞRI	39.63	43.02	0.75	0.69	0.91	0.58	21.5	-15.4
AMASYA	40.65	35.84	1.00	0.92	1.11	0.87	11.3	-5.3
ANKARA	39.92	32.85	0.25	0.23	0.74	0.49	194.8	111.1
ANTALYA	36.88	30.71	0.75	0.69	0.90	0.56	20.0	-18.3
ARTVİN	41.18	41.82	0.50	0.46	0.81	0.47	62.4	2.3
AYDIN	37.86	27.84	1.00	0.92	1.19	0.92	18.6	0.3
BALIKESİR	39.65	27.88	1.00	0.92	1.05	0.70	5.2	-23.6
BİNGÖL	39.06	40.77	1.00	0.92	1.28	0.99	28.2	7.8
BOLU	40.58	31.58	1.00	0.92	1.22	1.01	22.1	9.3
BURDUR	37.46	30.07	1.00	0.92	1.09	0.71	9.1	-22.3
BURSA	40.27	29.06	1.00	0.92	1.04	0.72	4.2	-21.5
ÇORUM	40.55	34.96	0.75	0.69	0.95	0.68	26.4	-0.9
DENİZLİ	37.78	29.09	1.00	0.92	1.13	0.78	12.6	-14.8
EDİRNE	41.68	26.56	0.25	0.23	0.81	0.52	224.8	124.6
ELAZIĞ	38.68	39.23	0.75	0.69	1.07	0.78	42.5	12.9
ERZİNCAN	39.75	39.50	1.00	0.92	1.19	0.99	18.9	7.4
ERZURUM	39.90	41.27	0.75	0.69	1.12	0.82	49.7	19.5
ESKİŞEHİR	39.78	30.52	0.75	0.69	0.96	0.63	27.7	-8.9
GAZİANTEP	37.07	37.38	0.50	0.46	0.79	0.54	57.0	17.1
GİRESUN	40.91	38.39	0.25	0.23	0.78	0.54	213.6	132.8
GÜMÜŞHANE	40.44	39.51	0.50	0.46	0.82	0.57	63.0	22.9
HATAY	36.40	36.35	1.00	0.92	1.11	0.80	11.4	-12.5
MERSİN	36.80	34.63	0.50	0.46	0.71	0.39	42.0	-14.9
İSTANBUL	41.01	28.98	1.00	0.92	1.09	0.80	9.3	-13.5
İZMİR	38.42	27.13	1.00	0.92	1.13	0.80	12.5	-12.5
KARS	40.62	43.10	0.75	0.69	0.83	0.51	10.5	-25.9
KAYSERİ	38.73	35.48	0.50	0.46	0.82	0.45	63.6	-1.6
KIRKLARELİ	41.73	27.22	0.25	0.23	0.78	0.51	212.8	119.8
KOCAELİ	40.85	29.88	1.00	0.92	1.13	0.89	12.7	-3.1

KONYA	37.87	32.48	0.25	0.23	0.69	0.31	175.2	33.6
KÜTAHYA	39.42	29.98	0.75	0.69	1.05	0.71	39.9	2.4
MANİSA	38.62	27.43	1.00	0.92	1.13	0.82	12.8	-10.9
K.MARAŞ	37.59	36.94	1.00	0.92	1.06	0.74	6.1	-19.1
MUĞLA	37.22	28.36	1.00	0.92	1.05	0.70	4.5	-23.8
NİĞDE	37.97	34.68	0.25	0.23	0.69	0.36	175.2	57.1
ORDU	40.98	37.88	0.50	0.46	0.74	0.55	47.4	20.3
RİZE	41.02	40.52	0.25	0.23	0.86	0.49	245.6	115.0
SAKARYA	40.69	30.44	1.00	0.92	1.41	1.08	41.4	17.3
SAMSUN	41.29	36.33	0.75	0.69	0.87	0.63	15.3	-8.6
SİNOP	42.02	35.15	0.25	0.23	0.73	0.52	193.6	127.2
SİVAS	39.75	37.02	0.50	0.46	0.79	0.57	58.4	24.9
TEKİRDAĞ	40.98	27.52	0.75	0.69	1.10	0.80	46.5	16.6
TRABZON	41.00	39.72	0.25	0.23	0.84	0.48	235.2	109.8
TUNCELİ	39.31	39.44	0.75	0.69	1.00	0.74	32.7	7.6
ŞURFA	37.16	38.80	0.50	0.46	0.59	0.41	17.6	-10.4
UŞAK	38.68	29.41	0.75	0.69	0.94	0.57	24.8	-17.0
VAN	38.49	43.41	0.75	0.69	0.94	0.59	25.1	-14.7
YOZGAT	39.82	34.81	0.50	0.46	0.67	0.49	34.4	6.8
ZONGULDAK	41.46	31.80	0.75	0.69	0.87	0.58	16.3	-16.3
BAYBURT	40.26	40.22	0.50	0.46	0.89	0.59	77.6	27.9
ŞIRNAK	37.42	42.49	0.75	0.69	1.01	0.63	34.8	-8.6
ARDAHAN	41.11	42.70	0.75	0.69	0.82	0.47	8.9	-31.8
İĞDIR	39.89	44.00	0.75	0.69	0.95	0.58	26.0	-15.7
YALOVA	40.65	29.27	1.00	0.92	1.19	0.95	18.9	3.0
KİLİS	36.72	37.12	0.25	0.23	0.84	0.57	237.2	145.9
DÜZCE	40.84	31.16	1.00	0.92	1.15	0.92	15.0	-0.1



Şekil 6. ZE(TBDY 2018), Z4 (DBYBHY 2007) Yerel Zemin Sınıfı, kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi (%)



Şekil 7. ZE(TBDY 2018), Z4 (DBYBHY 2007) Yerel Zemin Sınıfı, 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değişimi (%)

TBDY 2018'de ZE ve DBYBHY 2007'de Z4 yerel zemin sınıfları dikkate alınarak yapılan karşılaştırmada, TBDY 2018'e göre hesaplanan tasarım spektral ivme katsayısı değerlerinde DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan değerlere kıyasla ülke genelinde bir artış gözlemlenmektedir (Şekil 6, Şekil 7).

Tablo 3'den görüleceği üzere kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri %5'in üzerinde artış gösteren 57 ilimiz bulunmaktadır. Ankara, Edirne, Giresun, Kırklareli, Konya, Niğde, Rize, Sinop, Trabzon ve Kilis il merkezlerinde %175 ve üzeri artış tespit edilmiştir. Bu il merkezlerinin hepsi DBYBHY (2007)'de dördüncü derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Birinci derece deprem bölgesinde bulunan 19 ilimizde artış tespit edilmiştir. Bu illerden Bingöl'de %28.2, Bolu'da %22.1 ve Sakarya'da %41.4 artış Tablo 2'den hesaplanan değerlerle birebir aynıdır. Bu illerde kısa periyot harita spektral ivme değeri 1.5 g değerinin üzerindedir ve TBDY (2018) Tablo 2.1'e göre (Şekil 3) ZA ve ZE yerel zemin sınıflarının her ikisinde yerel zemin etki katsayısı F_s aynı değeri almaktadır.

1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değeri %5'in üzerinde artış gösteren 24 il bulunmaktadır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı artış göstermesine rağmen 1

saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değeri azalım gösteren il merkezlerinin hepsi yumuşak zeminlerde de sert zeminlerde olduğu gibi DBYBHY (2007)'de birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada ülkemizdeki 81 il merkezi dikkate alınarak, TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

TBDY (2018)'e göre hesaplanan tasarım spektral değerleri özellikle zayıf zeminlerde DBYBHY (2007)'ye göre hesaplanan değerlere kıyasla birçok il merkezimizde artış göstermiştir. Bu artışın en çok görüldüğü il merkezlerinin genellikle DBYBHY (2007)'ye göre dördüncü derece deprem bölgesinde bulunduğu anlaşılmaktadır.

TBDY (2018)'e göre hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri ZA yerel zemin sınıfı için 3 il merkezimizde %50 ve üzeri artış hesaplanmıştır öte yandan ZE zemin sınıfı için 10 il merkezimizde %175 ve üzeri artış tespit edilmiştir. Yumuşak zeminlerdeki artışın

sert zeminlere nazaran çok daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerleri, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri kadar artış göstermemiş hatta bazı illerde azalım göstermiştir. Azalım gösteren il merkezlerinin hepsinin DBYBHY (2007)'de birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde bulunduğu göz önüne alınırsa, hem yumuşak hem de sert zeminlerde TBDY (2018)'e göre hesaplanan uzun periyoda geçiş periyodunun (T_B) şiddetli depremlerde DBYBHY (2007)'ye göre daha küçük olduğu sonucu çıkmaktadır.

TDBY (2018)'de DBYBHY (2007)'den farklı olarak betonarme elemanlarda çatlamış kesit rijitliği kullanılmaktadır dolayısıyla bina doğal titreşim periyotlarında bir uzama söz konusudur. Ayrıca eşit yerdeğiştirme prensibinin TBDY (2018)'de $T \geq T_B$ bölgesinde DBYBHY (2007)'de ise $T \geq T_A$ bölgesinde uygulanması benimsenmiştir. Bu durumda taban kesme kuvvetlerinin bina özelinde bir çözümleme yapılmadan yürürlükteki yönetmeliğe göre yapılan hesaplarda ne derece değişeceğini kestirmek mümkün olmamaktadır. Yine de tasarım ivme spektrumunun tepe değeri olan kısa periyot spektral ivmelerinin özellikle ZE yerel zemin sınıfında büyük artış göstermesinin hesaplanan taban kesme kuvvetlerinde de bir artışa sebebiyet vereceğini söylemek yanlış olmaz. Yazar yeni yönetmeliğe göre yapılan hesaplarda taban kesme kuvvetinin artış gösterdiği mahallerde mevcut yapı stokunun deprem performansının tekrardan değerlendirilmesinin uygun olacağı görüşündedir. Böyle bir değerlendirme için, 81 il merkezinde genel durumun tespit edildiği bu çalışma kapsamının il bazında zemin araştırmalarını da içeren daha detaylı bir çalışma ile genişletilmesi daha doğru olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma sürecine katılarak destek sunan lisans öğrencisi Ercan Bayır'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Akkar, S., Eroğlu Azak, T., Çan, T., Çeken, U., Demircioğlu, M. B., Duman, T., Ergintav, S., Kadirioglu, F. T., Kalafat, D., Kale, Ö., Kartal, R. F., Kılıç, T., Özalp, S., Şeşetyan, K., Tekin, S., Yakut, A., Yılmaz, M. T., Zülfikar Ö. (2014). Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi, (UDAP – Ç – 13-06), Ulusal Deprem Araştırma Programı, Ankara.
- Aydın, M. R., Günaydın, A., (2017). Çelik Yapılar Açısından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağına Bir Bakış, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Cornell, C.A., (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58:6, 1583-1606.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Demir, A., Kayhan, A. H., (2017). Deprem Yönetmeliği 2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, VI+89s.+bir pafta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara.
- Erdem, M. M., Bikçe, M.,(2017). Maksimum Azaltılmış Göreli Kat Ötelemelerinin Güncel (DBYBHY2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY2016) Göre Mukayesesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32:2, 253-262.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüccemen, M. S., Doyuran, V. ve Başöz, N., (1993). En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, (Rapor No. 93-01), ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara.
- Joyner, W.B., Boore, D.M., (1981). Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71:6, 2011-2038.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M., (2011), Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010; $M \geq 4.0$), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.

- Özmen B., (2012). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55:1, 43-55.
- Öztürk, H., Demir, A., Dok, G., Güç, H., (2017). Betonarme Kolonların Etkin Kesit Rijitlikleri Üzerine Yönetmeliklerin Yaklaşımı, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara.
- Tunç, G., ve Tanfener, T., (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi, 3.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, Ankara.

Comparison of Spectral Accelerations According to DBYBHY 2007 and TBDY 2018 Earthquake Codes

Extended abstract

Seismic zonation maps provide a basis in calculation of seismic design loads. Due to the developments in ground-motion database, seismic hazard assessment procedures and ground-motion prediction equations, seismic zonation maps have undergone various changes since 1945. Accordingly seismic design spectrum and corresponding spectral values in current Turkish Earthquake Code (TEC 2018) differs from the previous code (TEC 2007).

In TEC 2007, seismic zones are used to describe seismicity in a region. Seismic zones are numbered as 0,1,2,3,4 which corresponds to a certain peak ground acceleration value. This concept is no longer used by TEC 2018 since a single map cannot properly display hazard for all probabilities of exceedance and within the boundaries of a zone possible variations in peak ground acceleration is neglected. Therefore with TEC 2018 seismic hazard map having numbered zones is replaced with maps showing contours of design ground motion.

In TEC 2007, soil classes fall into four category namely Z1, Z2, Z3 and Z4 sorted from strong to weak soils. According to soil profile only corner periods of the spectrum is determined. Whereas in TEC 2018, six soil classes are determined namely ZA, ZB, ZC, ZD, ZE and ZF which are again sorted from strong to weak soils. For a very weak soil ZF site specific analyses are required and for the rest, hazard map spectral values are modified by soil factors to obtain design spectral values. Soil class affects both corner periods and the short period spectral acceleration value.

In this study seismic load calculation steps and spectral values of 81 provincial centers are compared according to both recent and previous codes. Since soil profile is not known due to lack of field and laboratory studies, strongest (soil class ZA) and weakest (soil class ZE) soils are taken into account. The analyzed data is then visualized in terms of percent change on a political map.

For strong soils, calculated short period spectral acceleration values with TEC 2018 has increased in a few provinces in comparison to TEC 2007. In 17

provinces there has been an increase more than 5% and in only in 3 provinces more than 50% increase is observed.

On the other hand when weak soils are considered, calculated short period spectral acceleration values with TEC 2018 has increased in most of the provinces when compared to TEC 2007. In this case there has been a 5% or more increase in 57 province centres. In 10 province centres the increase is calculated as 175% or more.

It is seen that two factors mostly affect the percent change in short period spectral acceleration values. One is the state of soil. For weak soils the total percent change is higher and more widespread. The other factor is the seismicity of the region. Again the percent change is higher when the region has a low seismicity.

In this paper a generalized study is undertaken in all 81 provincial centres. Since soil profile is not known due to lack of field and laboratory studies, the most strong and most weak soils are taken into account. The scope of this paper can be extended to cover actual soil profile of each province by micro or macro zonation and calculations could be repeated for each zone to achieve a higher resolution in results.

Especially for weak soils there has been an increase in calculated short period spectral acceleration values between the recent and previous earthquake codes. Since calculated seismic design loads are based on spectral acceleration values it is not wrong to say that design loads of building stock is underestimated for many regions in Turkey. Therefore it is suggested a re-assessment of building stock following a detailed evaluation of spectral acceleration values in each province.

Keywords: Elastic Design Spectrum, Acceleration, Seismic Zonation Maps, Seismic Hazard Maps, Turkish Earthquake Code 2018, Turkish Earthquake Code 2007



Bingöl Şehir Merkezine Yakın Devlet Yollarında Yağmur Suyu Hasadı Ve Hidroelektrik Potansiyelinin İncelenmesi

İhsan GÜZEL

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
iguzel@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0002-9368-8902

Ahmet BENLİ*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
abenli@bingol.edu.tr ORCID:0000-0002-3005-6123, Tel: (426) 216 00 12 (1949)

Geliş: 15.05.2019, Revizyon:04.08.2019, Kabul Tarihi: 27.08.2019

Öz

Dünyada vazgeçilmez bir doğal kaynak olan suyun kullanılabilir kısmı olan tatlı su kaynakları; nüfus artışı ve beraberinde ihtiyaç duyulan gıda ürünleri için tarımda daha fazla kullanımının yanı sıra şehirleşen sanayileşen bölgelerde ihtiyacı ve kirliliğinin artması ve iklim değişikliği etkisiyle erişimi ve kalitesinin olumsuz etkilenmektedir. İnsan yaşamının en önemli ögesi olan su aynı zamanda günümüz insanların ve ülkelerin önemli gereksinimlerinden olan elektrik enerjisinin temininde kullanılacak temiz ve yenilenebilir bir kaynak olması, günümüzde elektrik enerjisi üretiminde en fazla miktarda kullanılan ve gün geçtikçe tükenen fosil kaynaklı yakıtlara karşı önemini artırmaktadır. Uluslararası alanda su ile ilgili sorunları kesin bir biçimde ele alındığı Dünya Su Forumunun, “Çözüm Zamanı”, “Geleceğimiz İçin Su” temalarıyla yapılan Fransa (2012) ve Güney Kore (2015) formlarında tatlı su kaynaklarının erişimi ve katledesinde olumsuz etkilenmelerin genel olarak eğitim, yeterli finans kaynakları sağlanması, su depolanması ve yağmur suyu hasadının yapılması, yerel yönetim desteklenmesi, manevi ve etik değerlerin ve ilkelerin tanınması ve su sektöründe karar alma süreçlerinde dikkate alınmasıyla azaltılabileceği belirtilmiştir. Su baskısı altında olan ülkemizin enerji ihtiyacı da bulunmakta olup bu çalışmada Bingöl Şehir Merkezine yakın devlet yollarının dağlık arazi kesimlerinden geçen kısımlarında yağmur suyu hasadı ile toplanan suyun cazibeli akışla kullanılması ve hidroelektrik potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır. Yağmur suyunun karayolu projelerine göre toplanmasına uygun olan ayrıca düşü yüksekliğinin fazla olduğu; Karlıova Ayr-Solhan güzergahının 5960 m’lik kısmında toplanan yağmur sularının 18320 m çelik cebire borularla taşınarak yıllık 75,940,314.85 Watt enerji üretileceği hesaplanmasına karşın işletme ve yapım maliyetleri bakımından ekonomik olmadığı; bu nedenle. Bingöl şehir merkezine yakın Kurudere-Bingöl, Ilıcalar-Bingöl, Karlıova Ayr-Solhan güzergâhlarının yağmur suyu hasadına ve bu hasadın cazibeli akışla yerleşim yerlerine getirilmesi uygun olan kısımlarında yıllık toplanacak su miktarının su kaynaklarına ve ülke ekonomisine katkısı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karayolu, Yağmur Suyu Hasadı, Hidroelektrik Enerji, Evsel Su Kullanımı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.565949

Giriş

Yaşam için vazgeçilmez bir doğal kaynak olan suyun dünyada kullanılabilir kısmı olan tatlı su kaynaklarının erişimi ve kalitesi genel olarak; nüfus artışı ve beraberinde besin ve gıda için suyun daha fazla tarımda kullanılması yanı sıra şehirleşen sanayileşen bölgelerde su ihtiyacı ve su kirliliği artmasından dolayı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durum 2018 Yılında Dünya Ekonomik Forumunda hazırlanan Küresel Risk Raporunda iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte gelecekte küresel riskler arasında su krizleriyle karşılaşılabilceği belirtilmiştir (1). Uluslararası alanda su ile ilgili sorunları kesin bir biçimde ele alındığı Dünya Su Forumunun, Fransa (2012) ve Güney Kore (2015) formları “Çözüm Zamanı”, “Geleceğimiz İçin Su” temalarıyla yapılmış olup; birçok konuyla beraber su gıda ve enerji ilişkisi, su ve insanlığın geleceği, sürdürülebilir kalkınma için su depolanması, 2025 yılından sonra dünya sularının geleceği, kurak alanlarda su kıtlığı, yerel su yönetimleri ve sistemleri için sürdürülebilir finans kaynaklarının sağlama, su ve sağlıklı suya erişimi sağlama sorumluluğu verilen yerel yönetimlere insan kaynağı ve gerekli finansman desteğinin ve fırsatlarının sağlanması, yerel su yönetimleri ve sistemleri için sürdürülebilir finans kaynaklarının sağlama, su eğitimini geliştirerek kapasite geliştirme, enerji için su-su için enerji, manevi ve etik değerlerin ve ilkelerin tanınması ve su sektöründe karar alma süreçlerinde dikkate alınması, su ve gıda güvenliği, akışa geçen suların daha verimli kullanılması için tarım alanlarında yağmur suyu hasadı, şehirlerde kurak bölgelerde yağmur suyu hasadı konuları oturumlarda ele alınmıştır (2, 3). Gelecekte su ihtiyaçlarının karşılanmasında katkıda bulunacak olan yağmur suyu hasadıyla ilgili olarak; yağmur suyu hasadıyla depolanan suların tarım (4) ve evsel ihtiyaçlar için kullanılması (5),su tasarrufu(6),ekolojik (ağaçlandırma vb.), çevresel korumayı destekleme, kaynaklardan temin edilen su sistemlerinin yapımıyla, yağmur suyu sistemlerinin yapımında karbondioksit emisyonunu salınımı karşılaştırması (7),yenilenebilir enerji kaynağı sudan, güneş

enerjisinden yararlanılmadığı yüksek yağış alan bölgelerde çatılarda yağmur suyu hasadı ile toplanan sudan pico-hidroelektrik toplama cihazı aracılığıyla kırsal elektrifikasyon temini (8),yağmur suyu hasadı sistemlerinin enerji yoğunluğu(9),çiftçilerin karayolları yüzeylerinden yağmur suyu hasadı yapma teknikleri (10),kentsel alanlarda bulunan yollarda yağmur suyu toplama potansiyeli (11) çalışmaları yapılmıştır.

Ülkeler fosil yakıtlardan çeşitli yenilenebilir güneş, rüzgâr ve su gibi kaynaklara geçtikçe yenilenen kaynaklardan enerji üretimi önemini artmaktadır. Literatürde karayolu yüzeylerinden yağmur suyu hasadı ile toplanan sudan hidroelektrik potansiyeli ile ilgili çalışmalar tespit edilemediğinden bu çalışmada Bingöl ili sınırlarında Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda dağlık araziden geçen Elâzığ il Sınırı-Bingöl, Bingöl-Solhan, Karlıova-Bingöl devlet yolu güzergâhların Bingöl şehir merkezine yakın kısımlarında yağmur suyunun kullanım potansiyeli ve yağmur suyu hasadı ile toplanan suyun hidrolik enerji potansiyeli araştırılacaktır.

Yağmur Suyu Hasadı

Su kaynakları, üzerindeki talebin giderek artışının yanında zaman ve konuma göre bu kaynağın arzu edilen miktar ve kalitede bulunmaması, mevcut su kaynaklarının ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar içinde en verimli şekilde kullanımını yani yönetimini gerekli kılmaktadır. Su kaynakları yönetimi, doğal çevrim içerisinde suyun insanlar tarafından gerek nicelik gerekse nitelik olarak en verimli şekilde ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar içinde sistematik olarak kullanımı anlamına gelmektedir (12).

Su yönetimi çerçevesinde yağış sularından maksimum fayda sağlayacak bir strateji geliştirmeyi amaçlayan su hasadı yöntemi, yağmur sularının ve yüzey akışına geçen suların toplanıp biriktirilmesi, bitkisel ve hayvansal üretim için gerekli olan suyun temini ile evsel tüketim için gerekli suyun sağlanmasıdır. En geniş anlamıyla su hasadı "verimli kullanım için su akışının toplanması" olarak tanımlanmaktadır (13). Yağmur suyu hasadı, yerleşim bölgelerinin çatı yüzeylerinde, yerel havzalarda (arazi) akışa

gecen yağmur sularının yakalanması, akarsu yataklarında mevsimsel sel sularının yakalanması, yağışın düştüğü yüzeyde toplanması ve toprağa depolanması dış su hasadı ile başka bir yerdeki bir yüzeyde yağışlardan kaynaklanan akıntıların toplanması ve depolanması, havzaların yönetimi ile su tasarrufu şeklinde yapılmaktadır (14, 15).

Yağmur Suyu hasadının avantajları;

-Kentsel yeşillik için İlave su temini ve toprak nem seviyesinin artırılması

-Yeraltı su seviyesinin artırılması (yapay olarak yeniden doldurma)

-Kentsel taşkınların azaltılması

-Yeraltı suyu veya diğer su temini kaynaklarını desteklenmesi suretiyle su temini maliyetini düşürülmesi,

-Acil durumlar için iyi kullanılabilir su kaynağı olması.

- Bakım maliyetleri düşük ve kolay basit teknolojiler kullanılması.

-Su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde alternatif kaynak olarak kullanılabilir olması

-Yağmur suyu deşarjlarını, kentsel taşkınları ve kanalizasyon arıtma tesislerinin aşırı yüklenmesinin azaltılması

- Kıyı bölgelerinde, yeraltı suyuna şarj edildiğinde, tuzluluk oranını düşürerek iyi kalitede su sağlaması

-Yağmur suyu toplama sistemleri basit olması nedeniyle bireyler tarafından kolayca benimsenmesi

- Tarımsal verimde artış sağlaması

-Orman arazisinin iyileştirmesi

- Halkın genel ekonomik ve sosyal gelişimini sağlaması

olarak sıralanırken; su toplama tesislerinin ilk yapım maliyetlerinin yüksek ve düzenli bakım gerektirmesi, tahmin edilemeyen yağış azlığı durumunda su teminin sınırlanması, bazı çatı tiplerinde kullanılan malzemeler de bulunan kimyasalların bitki sulamasında bitkilere zarar vermesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (16).

Gelecekte, yağmur suyunun toplanması ve tekrar kullanılması, sadece su mevcudiyetinin düşük olduğu bölgelerde değil ,aynı zamanda yılda metrekareye 1000 mm'den fazla yağış alan bölgelerde de giderek önemini artırmakta olup yağmur suyunun toplanmasının merkezi su

kaynağı olarak görüldüğü Almanya, İtalya İspanya, Hindistan, Çin, Malezya, Kore, Japonya, Kenya, Etiyopya, Suriye, Tunus, ABD ve Kanada Brezilya, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi dünyanın bir çok ülkesinin şehir alanlarında uygulanmaktadır (17). Nüfus artışı, doğal hidrolojik süreci değiştiren şehirleşme eğiliminin artması ve iklim değişikliği nedenlerinden dolayı artan su ihtiyacının karşılanması, kontrolsüz akıştan kaynaklanan toprak erozyonu önlenmesi, kurak bölgelerde kirli su tüketiminden kaynaklanan sağlık sorunlarının giderilmesine katkıda bulunacak olan yağmur suyu hasadı teknolojilerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Binlerce yıldır ülkemiz coğrafyasında yağmur suyu depolanıp kullanılmakta olup son zamanlarda özel teşebbüs tarafından mülkiyet alanlarında yağmur suyu hasadı teknolojisiyle ilgili tesisler yapılmış olup 2017 yılında halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, içme suyu kaynaklarının taşınan suyla kirliliklerden korunmasını esas alan yağmursuyu hasadıyla ilgili tesislerin projelendirilmesi yapımı ve işletilmesiyle ilgili "Yağmur Suyu Toplama, Depolama, Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik" yasalaşarak yürürlüğe girmiştir.

Türkiye'nin Su ve Enerji Durumuna Genel Bakış

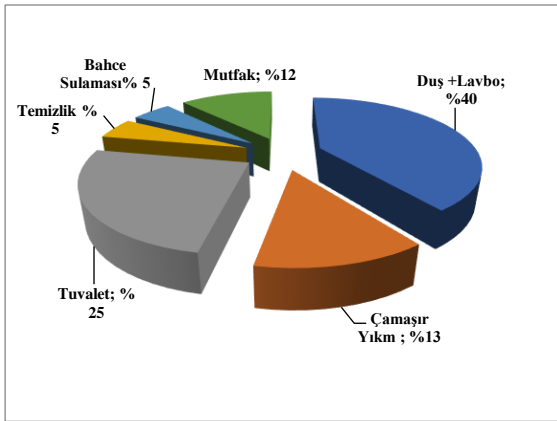
Yıllık su potansiyeli kişi başına 1700 m³' ten az olması nedeniyle Falkenmark Göstergesine göre su baskısı altında bulunan ülkemizde, yıllık ortalama 643mm/m² yağıştan elde edilen 501 milyar m³ yağış suyunun %54.69'si buharlaşırken, %8.18'si yeraltına sızmakta, geriye kalan %37.13'lük kısmı ise yüzey akışına geçmektedir. Yeraltından çekilebilir 14 milyar m³ ve yüzey akışından 98 milyar m³ olmak üzere toplam 112 milyar m³ yıllık net yeraltı ve yerüstü su potansiyelinin. (18) tüketilen 44 milyar m³'lük kısmının yaklaşık %16'sı içme suyu (evsel kullanım), %73 sulama, %11 sanayide kullanılmaktadır (19).

Nüfus sayısına göre değişebilen İller Bankası içme suyu proje hazırlama teknik şartnamesinde (20) kişisel (evsel olmayan birimler hariç) evsel su tüketimi 99 ile 171 lt/kişi/gün aralığında

olup; evsel su ihtiyacı, yerleşim yeri, konut tipi ve kullanıcıların alışkanlığına bağlı değişmekle beraber genel olarak kullanım oranları (21) Şekil 1’de aynı teknik şartnameye göre hayvansal su ihtiyacı ise Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Hayvansal su tüketimi

Hayvan Türü	Tüketim (Lt/Adet/Gün)
Büyük Baş Hayvan	50
Küçük Baş Hayvan	15
Tavuk Ördek Hindi	0.25



Şekil 1. Evsel su kullanım oranları

İnsanların kullanmış olduğu birçok sektöre ait ürünlerin üretimi ve alınan hizmet süreçlerinde kişi başına kullanılan su miktarı içme-kullanma amacıyla tükettiği su miktarından çok daha fazladır (22). Ülkemizde, kullanılan sanal suyun (Ürünlerin tüketildiği yerde, bu ürünün elde edilmesi sürecinde kullanılmış olan suyun da tüketildiği kabul edilmesi) su türünüm (Yeşil Mavi Gri) üretim, tüketim, ithalat ve ihracatta kullanım oranlarının belirtildiği su ayak izine göre üretim ve tüketim ayrı ayrı olmak üzere yaklaşık yılda 140 milyar m³ su kullanılmakta olup; tüketim su ayak izinin %17 sini ise ithal edilen ürün ve hizmetlerden karşılanmaktadır (23).

Kişi başına günde ortalama 200 lt su kullanılmasına karşın kişi başına 5m³/gün (140*10⁹/365*79*10⁶ (Nüfus)) sanal su tüketiminin yaklaşık %83’ünde yağmur suyu ve tatlı su kaynakları kullanılmaktadır (Şekil 2 ve 3). Ülkemizde en iyimser yaklaşımla 23.80 milyar TL (140*10⁹*0.17*1 (Su fiyatı 1 TL/m³)) ithal alınan ürün ve hizmetlere karşılık

sanal su ödemesi yapılmakta; bu nedenle teknolojik ürün üretmek şartıyla kişisel ithal ürün kullanma alışkanlıkları ve tercih nedenlerinin tespitinin yanı sıra su tasarrufu ve yağmur suyundan maksimum verimi elde edilmesi hakkında araştırmaların artırılması su baskısı altında bulunan ülkemizde zorunlu hale gelmektedir.



Şekil 2. Üretim su ayak izi [23]



Şekil 3. Tüketim su ayak izi [23]

Ülkemizin elektrik sistemlerinin kurulu gücünün yaklaşık %42.70’inde ithal kaynaklarla elektrik üretilmekte olup (24); 2017 yılında üretilen 297277.50 GWh elektrik enerjisinde % 45.20’inde yerli, % 54.80’inde ithal kaynak kullanılmıştır (25). Toplam üretilen elektrik enerjisine ikinci sırada katkıda bulunan hidrolik kaynaklar, yerli kaynaklı enerji üretiminde %55’lik oranla ilk sıradadır (Tablo 2).

Tablo 2. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2017)

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	KATKISI (%)
İthal Kömür	51118.10	17.20
Taşkömürü+Asfaltit	5663.80	1.91
Linyit	40694.40	13.69
Doğal Gaz	110490.00	37.17
Sıvı Yakıtlar	1199.90	0.40
Barajlı	41312.60	13.90
D.Göl ve Akarsu	16905.90	5.69
Rüzgâr	17903.80	6.02
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	2124.00	0.71
Atık Isı	848.30	0.29
Jeotermal	6127.50	2.06
Güneş	2889.30	0.97
TOPLAM	297277.50	100.00

Teorik olarak yılda 433000 GWh hidroelektrik üretme potansiyeline sahip ülkemizin, hidrolik kaynakları günümüz teknik koşullarına göre yılda 216000 GWh, ekonomik olarak ise 158000 GWh elektrik üretme potansiyeline sahip olup; mevcut işletmelerden ekonomik potansiyelin sadece %60'ı olan 95241 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir (26). Türkiye'nin teknik hidrolik potansiyelinin %15'ini, Tablo 3'de güçlerine göre sınıflandırmaları verilen küçük, mini, çok küçük (mikro) ve en küçük (piko) hidroelektrik santrallerden karşılanabileceği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (27).

Tablo 3. HES'lerin güçlerine göre sınıflandırılması

Sınıfı	Güç (kW)
Büyük HES	>100,000
Orta HES	10,000-100,000
Küçük HES	1,000-10,000
Mini HES	100-1,000
Çok Küçük 5-100	5-100
Piko	0-5

Ülkemizin kişi başına yıllık ortalama 3400 KWh tüketim ile Avrupa ortalamasının altında bulunması, artan nüfus artışı, fosil yakıtların gün geçtikçe tükenmesi ve maliyetlerinin artması sebebiyle yerli kaynak olan hidrolik güçten maksimum seviyede yararlanmayı

gerektirmekte; bu nedenle karayollarında yağmur suyu hasadıyla çok küçük hidroelektrik santrallerle elektrik üretimi çalışmalarının yapılması teorik hidroelektrik potansiyelinden yararlanmaya katkıda bulunacaktır.

Materyal ve Yöntem

Metodoloji

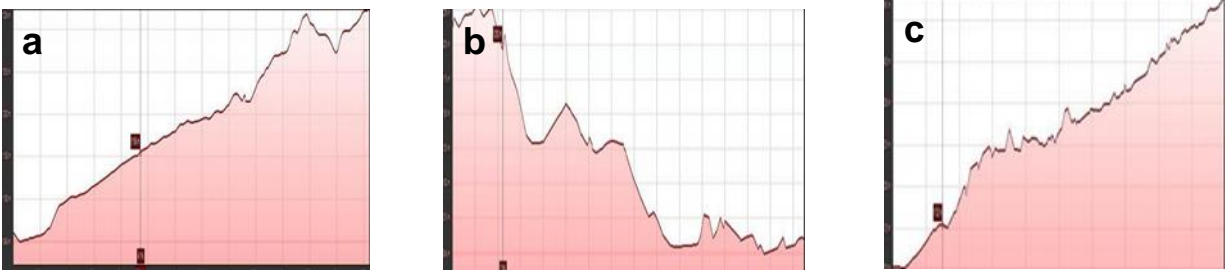
Bingöl şehir merkezine yakın devlet yollarının Google Earth'den yatay ve düşey eksenleri incelenerek, güzergahların yağmur suyu hasadı kapasitesi ile toplanan yağmur suyunun depolanarak cazibeli olarak akışın sağlanması durumunda hidroelektrik potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma Alanı

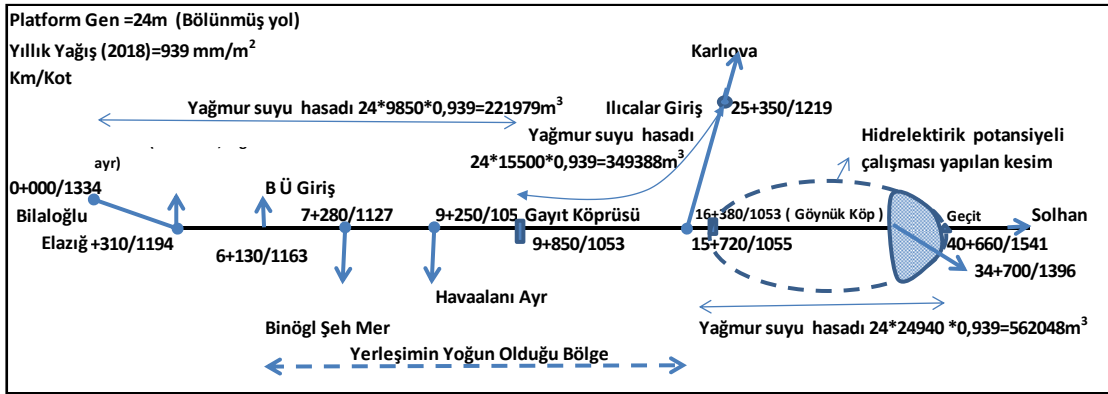
Fırat Havzası içerisinde bulunan Bingöl ilinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda 224 km devlet yolunun (Şekil-4), bu çalışma kapsamında Kuruca Geçiti-Bingöl (Gayıt Köprüsü), Karlıova, Ilıcalar Solhan Ayrım-Bingöl (Gayıt Köprüsü), Karlıova Ayr-Solhan güzergâhlarının il merkezine yakın ve cazibeli akışa uygun olan bazı kısımlarının Google Earth hataları dâhilinde düşey eksen profili tespit edilmiş (Şekil-5); Kurudere mevki başlangıç alınarak kot, kilometre ve ilin 1961-2018 yılları arası yıllık yağış ortalamasına göre yol kaplama yüzeyinden araziye akış olmadan toplanacak (hasat) yağmur suyu miktarlarının krokisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. KGM Bingöl ili Yol Haritası

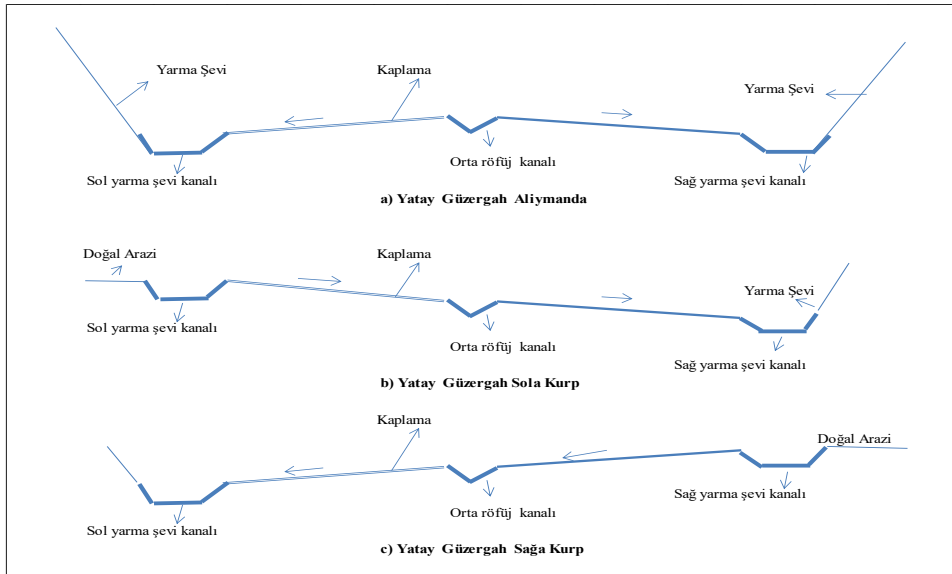


Şekil 5. a) Bingöl (Gayit Köprüsü) -Kurudere 9,85 km (Kuruca Geçidi-Bingöl (Gayit Köp 32 km), b) Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köp), 15,50km (Karlıova, Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köp 65 km), c) Karlıova Ayr-Solhan 24940km (Karlıova Ayr-Solhan 46 km)



Şekil 6. Bingöl ilinde yağmur suyu hasadı çalışması yapılan güzergâhlar

Hidroelektrik potansiyeli, debi ve düşü yüksekliği önemli derecede etkilediğinden yol kaplama yüzeyinden yağmur suyu hasadı yapılarak belli bir miktar suyun depolanması ve belli bir düşü yüksekliğinden getirilerek mini veya piko santrallerle hidroelektrik enerji üretilmesi açısından Karlıova Ayr-Solhan güzergahı uygun olduğundan kilometre 34+700-40+660 arası yüzeysel akış katsayısı 0.9 kabul edilerek; Şekil 7’de gösterilen yatay eksen geometrisi ve meteorolojik verilere göre yağmur suyunun yol en kesiti üzerinde toplanacağı kesimleri ve aylık miktarları Tablo 4’te aylık miktarlara göre kanalların minimum kesit alanları Tablo 5’te gösterilmiştir.



Şekil 7. Yol Yüzeyinde Yağmur Suyu Toplanacak Kanallar

Tablo 4. Yıllık yağış ortalamasına göre Karlıova Ayr-Solhan güzergahında (34+700-40+660) kanallarda toplanacak yağmur suyu miktarları

Kilometre	Ara Mesafe -A(m)	Kot		Yatay Güz Tip	Kanalda Toplanan Su (m ³)		
		Baş.	Bit.		Sağ Ban Kan (A*Pg/2* C*Y)	Orta Rofüj Kan (A*Pg/2* C*Y)	Sol Ban Kan (A*Pg/2* C*Y)
34+700-35+840	1140	1396	1435	Aliyman	11567.124		11567.124
35+840-36+530	690	1435	1449	Saga	7001.154	7001.154	
36+530-37+210	680	1449	1461	Sola		6899.688	6899.688
37+210-38+000	790	1461	1483	Saga	8015.814	8015.814	
38+000-38+370	370	1483	1490	Sola		3754.242	3754.242
38370-40+510	2140	1490	1535	Aliyman	21713.724		21713.724
40+510-40+660	150	1535	1541	Sağs	1521.99	1521.99	
TOPLAM	5960	--	---	---	49819.806	27192.888	43934.778

Platform Gen Pg=24 :Yüzey akış katsayısı C=0,9 :Yıllık yağış ort. Y=939,50 mm/m²

Yağmur suyu toplanan; Sağ kanal boyu LSg=4910m, Orta kanal boyu LO=2680 m Sol kanal boyu LSl=4330m

Tablo 5. Aylık yağış ortalamasına göre kanallarda toplanacak yağmur suyu miktarları ve kesit alanları

Ay	Yağış (mm/m ²)	Aylık Su Birikme Miktarlar (m ³)			Aylık Yağışa Göre Gerekli Min Kesit Alanı (m ²)		
		Sağ Ban Kan (SgA=SgKT* Ya/Y)	Orta Rof Kan (OKA=OKT* Ya/Y)	Sol Ban Kan (SIA=SIKT* Ya/Y)	Sağ Ban Kan (SgA/LSg)	Orta Rof Kan (OKA/LO)	Sol Ban Kan (SIA/LSI)
Kasım	107.7	5711.12	3117.27	5036.48	1.16	1.16	1.16
Aralık	133.6	7084.54	3866.92	6247.67	1.44	1.44	1.44
Ocak	137.2	7275.44	3971.12	6416.02	1.48	1.48	1.48
Şubat	132.9	7047.42	3846.66	6214.94	1.44	1.44	1.44
Mart	128.5	6814.10	3719.30	6009.17	1.39	1.39	1.39
Nisan	117.5	6230.79	3400.92	5494.77	1.27	1.27	1.27
Mayıs	74.8	3966.49	2165.01	3497.95	0.81	0.81	0.81
Haziran	21.1	1118.89	610.72	986.72	0.23	0.23	0.23
Temmuz	5.5	291.65	159.19	257.20	0.06	0.06	0.06
Ağustos	3.2	169.69	92.62	149.64	0.03	0.03	0.03
Eylül	11.5	609.82	332.86	537.79	0.12	0.12	0.12
Ekim	66	3499.85	1910.30	3086.42	0.71	0.71	0.71
TOPLAM	939.5	49819.81	27192.888	43934.778	10.15	10.15	10.15

Sağ kanalda toplanan su SgKT=49819.89 m³: Orta kanalda toplanan su OKT=27192.88m³: Sol kanalda toplanan SIKT=43934.78 m³
Yağmur suyu toplanan; Sağ kanal boyu LSg=4910 m, Orta kanal boyu LO=2680 m Sol kanal boyu LSl=4330 m

Kanal dip kotlarının kaplama banket (yatay eksene göre değişebilen banket kotları bu çalışmada yol eksen kotları alınmıştır) kotlarından trafik güvenliği açısından 75 cm aşağıda olması gerektiğinden tespit edilen yol eksen kotlarından 75 cm çıkarılarak sol kanal kotları hesaplanmış (Tablo 6) buna göre kanal düşey eksen hattı çizilmiştir. Kanalda toplanan suları (34700-40+660) depolanması don derinliği de göz önüne alınarak kilometre 40+660'da kanal dip kotundan 1.50 m aşağısından

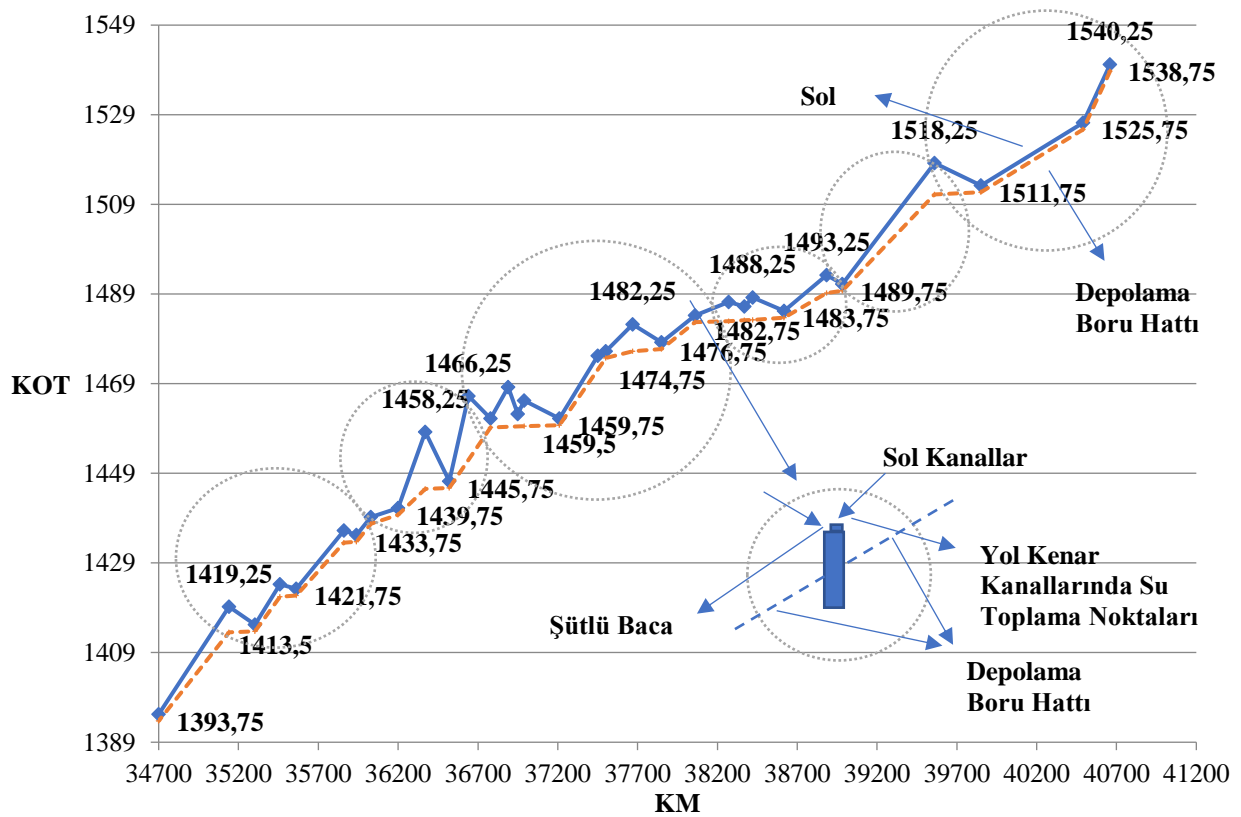
başlanarak ve cazibeli akışa uygun olarak depolama borularının kotları tespit edilerek (Tablo 7) düşey eksen Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 6. Sol Kanal Kotları (344700-40+660)

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
34+700	1395.25	36+200	1441.25	37+210	1461.25	38+421	1488.25
35+141	1419.25	36+370	1458.25	37+450	1475.25	38+617	1485.25
35+303	1415.25	36+520	1447.25	37+500	1476.25	38+885	1493.25
35+459	1424.25	36+640	1466.25	37+670	1482.25	38+983	1491.25
35+562	1423.25	36+780	1461.25	37+850	1478.25	39+560	1518.25
35+860	1436.25	36+890	1468.25	38+060	1484.25	39+850	1513.25
35+940	1435.25	36+950	1462.25	38+270	1487.25	40+490	1527.25
36+030	1439.25	36+990	1465.25	38+370	1486.25	40+660	1540.25

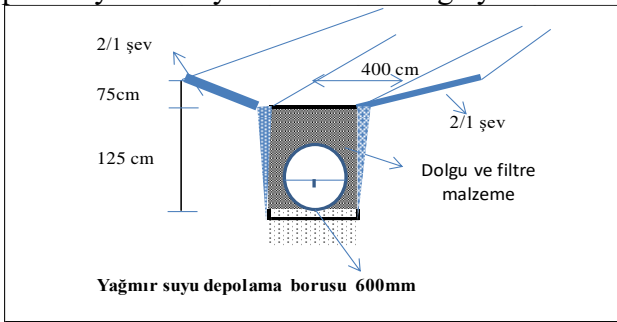
Tablo 7. Sol depolama boru kotları (34+700-40+660)

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
40+660	1538.75	38+421	1483.25	37+210	1459.75	35+940	1433.75
40+490	1525.75	38+370	1483.15	36+990	1459.5	35+860	1433.5
39+850	1511.75	38+270	1482.95	36+780	1459.25	35+562	1421.75
39+560	1511.25	38+060	1482.75	36+520	1445.75	35+459	1421.45
38+983	1489.75	37+850	1476.75	36+370	1445.5	35+303	1413.75
38+885	1489.25	37+670	1476.25	36+200	1439.75	35+141	1413.5
38+617	1483.75	37+500	1474.75	36+030	1437.75	34+700	1393.75

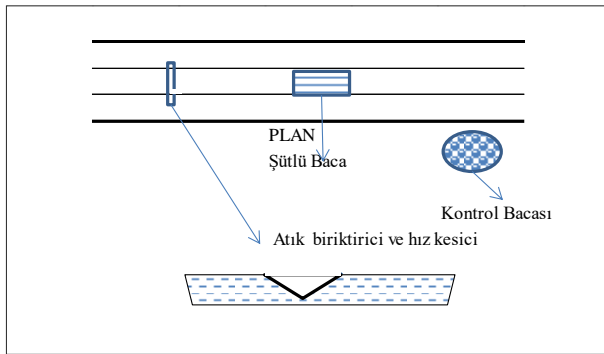


Şekil 8. Sol açık kanal ve depolama borusu düşey eksenini

Karayolları tasarım ilkelerine göre rakımı 900 metreden yukarı olan kotlarda ve kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde yarma en kesitlerinin banket kenarlarında uygulanan trapez kesitin alanı (Şekil 9 ve 10) meteorolojik verilere göre don olaylarının yaşandığı Aralık Ocak ve Şubat aylarının toplamı için gerekli olan 4.72 m² (1.44+1.48+1.44) olması ayrıca buharlaşmanın en fazla olduğu Haziran Temmuz Ağustos ayları içerisinde en büyük değere sahip olan Haziran ayı değeri olan 0.23m² kesit alanı için 600 mm çaplı depolama borusu seçiminin maksimum seviyede yağmur suyu hidroelektrik potansiyelinden yararlanmasını sağlayacaktır.



Şekil 9. Açık kanal ve depolama borusu en kesiti (40+660-34+700)

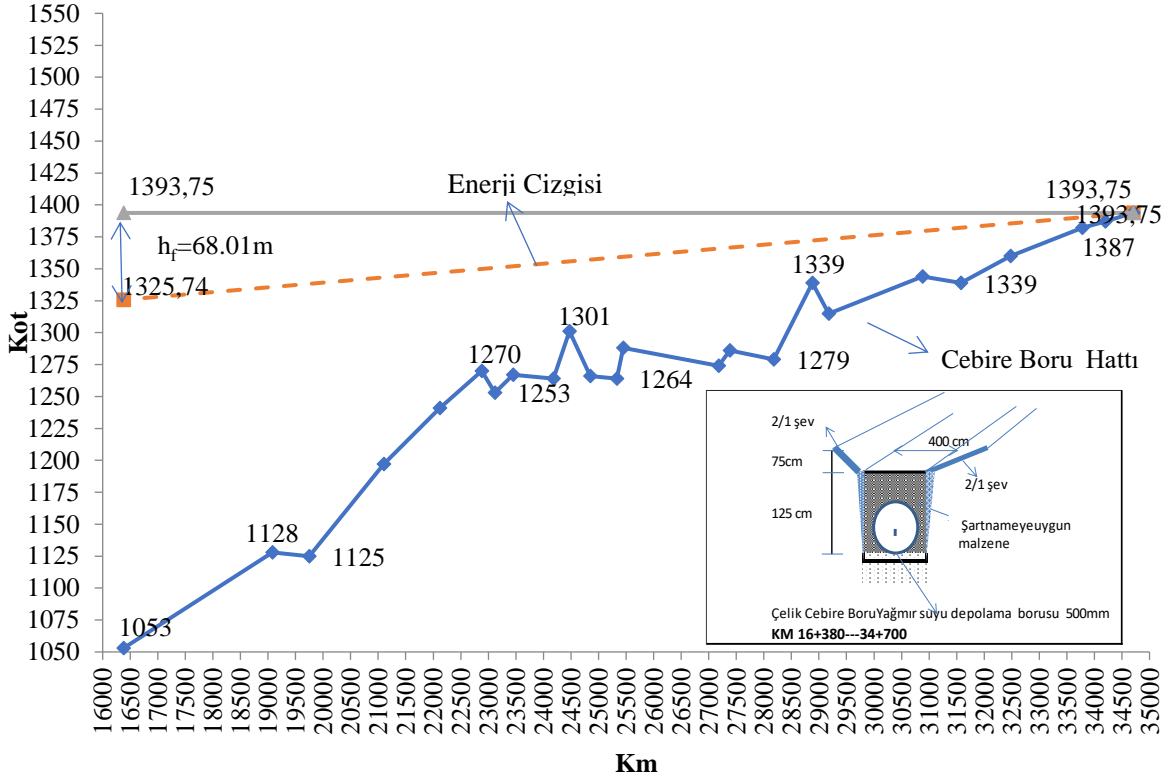


Şekil 10. Açık kanal plan krokisi

Kilometre 40+660-34+700 arası yol en kesitinin solunda depolama borularında toplanan yağmur suları Kilometre 34+700 -16+380 (Göynük Köprüsü) arası tespit edilen yol kenar kotlarından 2m (Kanal yüksekliği 0.75 m + boru ve boru üstüne gelecek malzeme 1.25m) düşünülerek cazibeli akışa uygun kotlar tespit edilerek (Tablo-8); cebire boru hattının düşey eksen ve yük kaybı çizilmiştir (Şekil 11).

Tablo 8. Cebire boru kotları

KM	KOT	KM	KOT	KM	KOT
16+380	1053	24+180	1264	28+880	1339
19+080	1128	24+470	1301	29+180	1315
19+750	1125	24+850	1266	30+880	1344
21+100	1197	25+330	1264	31+580	1339
22+120	1241	25+450	1288	32+480	1360
22+880	1270	27+180	1274	33+780	1382
23+120	1253	27+380	1286	34+200	1387
23+450	1267	28+180	1279	34+700	1393.75



Şekil 11. Cebire Boru Düşey eksenli Enerji Çizgisi

Çelik cebire borularla depolanan suyun km 16+380'de deşarj edilerek enerji üretimi Darcy-Weisbach Swamee-Jai eşitlikleri (Denklem 2, 3 ve 4,) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = A.V \quad (1)$$

$$Re = \frac{v.D}{\nu} \quad (2)$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (3)$$

$$h_f = f \frac{L.V^2}{2.g.D} \quad (4)$$

$$N_{TR} = 13.3 Q H e_{TR} \quad (5)$$

$$E = Q.H.g.\gamma.e_j.e_t.e_{TR}.t \quad (6)$$

Eşitliklerde Q debi (m³/s), A boru kesit alanı (m²), V hız (m/s), ν suyun kinematik viskozite (m²/s), f Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, ϵ boru pürüzlük katsayısı, D boru çapı (m) Re Reynold Katsayısı, h_f yükseklik kaybı (m) L boru hattı uzunluğu (m), g yerçekimi ivmesi (m/s²) H düşü yüksekliği (m), N_{TR} türbün gücü (BG) e_{TR} türbin verimi E üretilecek enerji (Wattsaat), e_j jeneratör verimi, e_t transformatör verimi, γ suyun yoğunluğu (1000 kg/m³), t zaman (sa) dir.

$Q=0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ $V=1\text{m/s}$ ve $\nu=1.36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ kabul edilerek, çelik boru pürüzlük katsayısı $\epsilon=0,0045$ seçilmesi durumunda

$$D = \sqrt{4 * 0,2/1. \pi} = 0.504 \text{ m seçilen } 0.50\text{m}$$

$$Re = \frac{1.0.5}{1.36.10^{-6}} = 371048,90$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{0,0045/0,5}{3.7} + \frac{5.74}{371048,90^{0.9}} \right) \right]^{-2} = 0,0367$$

$$h_f = 0,0367 \frac{L(34700-16380).1^2}{2.9.81.0.50} = 68,01\text{m}$$

Kasım ayında toplanan su miktarı= $5711.12+3117.27+5036.48=13864.87\text{m}^3$

Kasım ayında toplanan suyun $0.20\text{m}^3/\text{sn}$ debiyle deşarj süresi= $13864.87/(0.20*3600)=19.25 \text{ sa}$ $e_{TR}=0.90$, $e_j=0.98$, $e_t=0.95$ kabul edilmesi durumunda

$$N_{TR}=13.3*0,2*(1396-1053-68.01)*0.90 = 658.33 \text{ BG}$$

$$E = 0.2*(1396-1053-68.01)*9.81*1000*0.90*0.98*0.95*19.25 = 8702395.73\text{Watt}$$

Kasım ayı için enerji üretimi hesaplamaları yılın diğer ayları içinde yapılarak ;yılıda türbinin 167.98 sa çalışarak 75.940.314,85 Watt enerji üretileceği hesaplanmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Aylara göre enerji üretimi

Ay	Yağış (mm/m ²)	Kanal Top Su (m ³)	Aylık Çalışma Süresi (Sa)	Enerji Verimi (0.9*0.98*0.95=0.8379)	Aylık Enerji Üretimi E (Watt)
Kasım	107.7	13864.87	19.25	0.8379	8702395.73
Aralık	133.6	17199.13	23.89	0.8379	10798963.35
Ocak	137.2	17662.58	24.53	0.8379	11089953.38
Şubat	132.9	17109.01	23.76	0.8379	10742381.95
Mart	128.5	16542.58	22.98	0.8379	10386727.47
Nisan	117.5	15126.48	21.01	0.8379	9497591.27
Mayıs	74.8	9629.45	13.37	0.8379	6046126.18
Haziran	21.1	2716.33	3.77	0.8379	1705524.90
Temmuz	5.5	708.05	0.98	0.8379	444568.10
Ağustos	3.2	411.96	0.57	0.8379	258657.80
Eylül	11.5	1480.46	2.06	0.8379	929551.49
Ekim	66	8496.58	11.80	0.8379	5334817.22
TOPLAM	939.5	120947.47	167.98	0.8379	75940314.85

Üretilen enerjinin Bingöl ili için yıllık yaklaşık tutarı 17466TL (0.23 TL/kwh)*75940.314)dir.

Sonuçlar ve Tartışma

Bingöl ilinin Şehir merkezine yakın devlet yollarında yağmur suyu hasadı yöntemi ile toplanan suyun cazibeli olarak akıtılması durumunda;

- Yılda 5960 m bölünmüş yoldan toplanan yağmur suyundan cazibeli akışla üretilen 75,940,314.85 Watt elektrik enerjisinin yaklaşık olarak yıllık 22 (75940/3400) kişinin enerjisini karşılayabildiğinden; depolama, cebire boru ve bu borular için yapılacak kazı dolgu ve yatay sondaj imalat maliyetleri göz önüne alındığında üretilen enerjinin ekonomik olmamasına karşın bu tür projelerin sayısının artırılması enerji ihtiyacı olan ülkemizin elektrik enerji üretiminin miktarını artıracığı,
- Günlük kişi başına 170 lt evsel su kullanımının %30'u bahçe ve tuvalet ihtiyaçlarında kullanılmakta olup; Bingöl (Gayit Köprüsü)-Kurudere, Ilıcalar-Bingöl (Gayit Köprüsü), Karlıova Ayr-Solhan güzergahlarının cazibeli akışa uygun şehir merkezine yakın 50.290 kilometrelik kısımlarından yağmur suyu hasadı ile toplanan 1133415 m³ (221979+562048+349388) suyun filitasyon

yapılarak kullanılması durumunda 51754 (1133415/(0.2*0.30*365) kişinin yıllık bahçe ve tuvalet suyu ihtiyacını karşılayabileceği gibi normal isale hatların pompa işletme masraflarına göre pompa işletme masraflarının düşüreceği,

- Karayolları Genel Müdürlüğüne yapılan Karayolu Projelerinde yatay, düşey ve yerleşim bölgelerine yakınlığı göz önünde bulundurularak yağmur suyu hasadı projelerinin hazırlanması su baskısı altında bulunan Ülkemizin su kaynaklarına katkıda bulunacağı ayrıca depolanan suların karayolları yakınında bulunan tarım arazilerinin sulanmasında ve kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. The Global Risks Report 2018, World Economic Forum, 13th Edition, Geneva.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_GRR18_Report.pdf.
2. Global Water Framework, 2012, 6th World Water Forum, Marseille, France, 12-17 March,
http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/2017-10/6th_world_water_forum.

3. Final Report, 2015, 7th World Water Forum, Daegu and Gyeongju, Republic of Korea, <http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/2017>.
4. M., Yeniçeri, 2018, Yağmur Sularının Hasadı ve Aktif Olarak Tarımsal Sulamada Kullanılması, Afet ve Risk Dergisi, 1(2), 126-136.
5. V., Notaro, L., Liuzzo, G., Freni, 2016, Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Southern Italy, Procedia Engineering, 162, 373-380.
6. M., Dakua, A., M., Redwan, B., N., Jahan, S., M., Tareq, S., Ahmed, N., F., Noor, 2016, A Case Study on Management of Rainwater Reservoir Areas In Hilly of Bangladesh, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 7, 6, 193-201.
7. J., Zhi-yun, L., Xiao-yan, M, Yu-jun, 2013, Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China, Journal of Integrative Agriculture, 12(8), 1389-1395
8. https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032118-144002/unrestricted/Rainwater_Energy_Harvesting_MQP_Final.pdf, Energy Harvesting from Rainwater, Worcester Polytechnic Institute.
9. A., S., Vieira, C., D., Beal, E., Ghisi, R., A., Stewart, 2014, Energy intensity of rainwater harvesting systems A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 225-242.
10. https://www.samsamwater.com/library/Book6_Water_from_roads.pdf, Water from Roads A handbook for technicians and farmers on harvesting rainwater from roads, Danish International Development Assistance (Danida) 2006.
11. S., N., Sachdeva, U., Sharma, 2008, Potential of Road Rainwater Harvesting in Urban Areas, 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Water Resources, Hydraulics & Hydrology (WHH '08), University of Cambridge, UK, Feb. 23-25.
12. B., T., Meriç, 2004, Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28(1), 27-38.
13. G., P., Mengü, E., Akkuzu, 2008, Küresel Su Krizi ve Su hasadı Teknikleri, ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2), 75-85.
14. <https://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/268>, Assessment of Best Practises and Experience in Water Harvesting, Rainwater Harvesting Handbook.
15. B., Helmreich, H., Horn, 2009, Opportunities in rainwater harvesting, Desalination, 248, 118-124.
16. A., D., Patel, P., K., Shah, 2015, Rainwater Harvesting- A Case Study of Amba Township, Gandhinagar, National Conference on "Transportation and Water resources Engineering"
17. S., Yannopoulos, G., Antoniou, M., Kaiafa-Saropoulou, A., N., Angelakis, 2017, Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review, Water Science & Technology Water Supply, 17(4), 1022-1034.
18. www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, Toprak su kaynakları, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
19. A., U., Öktem, A., Aksoy, 2014, Türkiye'nin Su Riskleri Raporu, İstanbul Bilgi Üniversitesi.
20. İçme Suyu Tesisleri Etüt Ve Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname, 2013, İller Bankası Anonim Şirketi.
21. A., Karahan, 2009, Gri Suyun Değerlendirilmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs, İzmir.
22. S Anaç ,E Özçakal ,G Pamuk Mengü Sanal Su Kavramı ve Su Yönetiminde Önemi Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2011, 48 (2): 159-164 ISSN 1018 – 8851
23. G., Pegram, S., Conyngham, A., Aksoy, B., B., Dıvrak, D., Öztok, 2014, Türkiye'nin Su Ayak İzi Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, İstanbul Bilgi Üniversitesi.
24. www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-11/16.xlsx, Yerli Enerji Kaynaklarına ait Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibari ile Gelişimi, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
25. <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar-0>, Elektrik Enerjisi Üretimi Tüketimi Kayıplar, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
26. <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2017-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2017 Yılı Faaliyet Raporu.
27. M., T., Özdemir, A., Orhan, M., Cebeci, 2011, Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkanların Değerlendirilmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elâzığ.

Investigation of Rainwater Harvest and Hydroelectric Potential in the State Roads in Bingöl Province

Extended abstract

Fresh water resources, which can be used as an indispensable natural resource in the world; In addition to the increasing use of agricultural products for population growth and the need for food products, the need for urbanized industrialized areas negatively affects access and quality due to the increase in pollution and climate change. Water, which is the most important element of human life, is also a clean and renewable resource that will be used in the supply of electrical energy which is one of the important requirements of today's people and countries. Today, it increases its importance against fossil fuels which are used in the most amount of electricity production and are consumed day by day. In general, training on the negative impacts of access to fresh water resources in the forms of France (2012) and South Korea (2015) made with the themes of the World Water Forum 'Solution Time', 'Water for Our Future', which has been addressed in an international manner, it was stated that adequate financial resources could be reduced by water storage and rainwater harvesting, local government support, recognition of moral and ethical values and principles, and taking into account the decision-making processes in the water sector. The Global Risk Report, prepared in the World Economic Forum in 2018, states that water crises may be encountered among global risks in the future with the impacts of climate change; In addition to the efficient and economical use of precipitation water, which is the source of freshwater, it makes it necessary to make infrastructure planning which will provide the least impact on water scarcity and water crises for the future. One of the surface areas where the precipitation water will be collected by the evaporation without leakage to the underground and the least evaporation is the highway surface. With an average annual rainfall of 601 mm / m², an average of 26 m platform width and a wide range of other road platforms, and a total of 15600 m³ of rainwater per year can be collected from one kilometer. The collected water will meet the annual water requirement of approximately 700 people in the case of people using households and in toilets and gardens after appropriate filtration. In case of consumption of 72 m³ water per person per year; The General Directorate of Highways is responsible

for 22634 km divided by highway and the annual rainfall average of the country will meet the annual water needs of five million people. According to the Falkenmark Indicator, our country, which is under water pressure, has the necessary infrastructure for the use of rainwater to be collected from the highway surface because of the need for more highways and roads than the developed countries. is gaining importance. The energy requirement of our country, which is under water pressure (ne demek su baskısı), has been tried to determine the hydroelectric potential of the water collected with rainwater harvesting in the parts of the mountain roads near the Bingöl City Center through the mountainous terrain. Rain water collected in the 5960m of Karlıova Ayr-Solhan route, which is suitable for the collection of the rain water according to the highway projects, is calculated to produce 75.940.314,85 watts of energy by transporting the rain water collected in the 5960m part of the road. On the other hand, it is observed that it is not economical in terms of operating and construction costs. and therefore the rainwater harvest of the Kurudere-Bingöl, Ilıcalar-Bingöl, Karlıova Ayr-Solhan routes close to the Bingöl city center and this harvest; the amount of water to be collected annually and the contribution to water resources and the country's economy were investigated.

Keywords: Highway, Rainwater Harvesting, Hydroelectric Energy, Domestic Water Use.



Hiper akışkanlaştırıcı katkı dozajının kalsiyum hidroksit boyutu üzerindeki etkisi

Hatice ÇİÇEK

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır
htcgnl@gmail.com ORCID: 0000-0003-3271-1854, Tel: (412) 241 10 00 (3716)

İsmail Ağa GÖNÜL*

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır
ismail@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-9833-7140, Tel: (412) 241 10 00 (3720)

Geliş: 09.09.2019, Revizyon: 30.09.2019, Kabul Tarihi: 01.10.2019

Öz

Kalsiyum hidroksit (KH) betondaki ana hidratasyon ürünlerinden biridir. Büyük KH kristalleri betonda daha boşluklu bir yapı oluşturur ve düşük yüzey alanı ve buna bağlı olarak zayıf van der Waals çekim kuvvetleri nedeniyle daha düşük aderans kapasitesine sahiptir. KH aynı zamanda en fazla çözünebilen hidratasyon ürünüdür ve bu nedenle betonda zayıf bir halkadır. Hiper akışkanlaştırıcı katkı (HAK), kullanılacak dozajı ile sadece çimento hamurunun reolojik davranışını değil, aynı zamanda hidratasyon karakteristiğini de etkileyen yeni nesil akışkanlaştırıcılardandır. Bu çalışmada, HAK dozajının betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu bağlamda, üç farklı HAK dozajlı (%1, %1.25 ve %1.5) ve üç farklı A_{iri}/A (iri agrega/tüm agrega) oranlı (%40, %50 ve %60) dokuz beton karışımı hazırlanmıştır. Betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu, taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile alınan görüntüler aracılığıyla belirlenmiştir.

HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunu ortalama %21 oranında düşürmüştür, %1.5'e çıkarılması ise ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunu ortalama %3.7 oranında arttırmıştır. Bununla birlikte, betonun A_{iri}/A oranı arttıkça ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun arttığı da tespit edilmiştir.

HAK'ın uygun dozajda kullanılması ile ara yüzey bölgesindeki KH kristalleri daha küçük olan beton üretilebileceği görülmektedir. Bunun sonucunda da betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılığı ile ilgili özelliklerine önemli bir katkı sağlanacağı açıktır.

Anahtar Kelimeler: beton; ara yüzey bölgesi; hiper akışkanlaştırıcı katkı; kalsiyum hidroksit kristalleri; katkı dozajı; kristal boyutu;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.617325

Giriş

Dünya genelinde özellikle hazır beton sektöründe akışkanlaştırıcı katkı kullanımı çok yaygınlaşmış ve betonun önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Akışkanlaştırıcı katkıları, çimento hamurunun işlenebilirliğini artıran kimyasallardır. Belirli bir işlenebilirlik için daha düşük bir su/çimento (S/Ç) oranının kullanılmasına izin verilerek daha kaliteli beton elde edilmesi sağlanır. Normal akışkanlaştırıcı katkı olarak adlandırılan bu kimyasalların geleneksel çeşitleri, S/Ç oranında %5-15 azalma sağlarlar. Süper akışkanlaştırıcı katkı adı verilen bu kimyasalların bir başka çeşidi daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılabilir ve S/Ç oranında %30'a varan oranda azalma sağlarlar (Thomas ve Jennings, 2009). Hiper akışkanlaştırıcı katkı (HAK) ise S/Ç oranında %35-40 oranında azalma sağlayan yeni nesil akışkanlaştırıcılardır (Bauchkar ve Chore, 2018). HAK, S/Ç oranında çok büyük bir düşüş sağlamak için kullanıldığında, üretilen betona özel olarak "yüksek dayanımlı" beton denecek kadar yüksek bir dayanım artışına yol açar. Eğer S/Ç büyük oranda düşürülmezse, sonuç mekanik bir konsolidasyon gerektirmeyecek kadar akıcı olan beton olacaktır (Thomas ve Jennings, 2009).

HAK, sadece çimento hamurunun reolojik davranışını değil, aynı zamanda hidrasyon karakteristiğini de etkiler. Hidrate olmuş çimento hamuru; hidrasyon ürünleri, boşluklar ve bazı hidrate olamamış klinker tanelerinden oluşur. Kalsiyum hidroksit (KH) ana hidrasyon ürünlerinden biridir. Diğerleri kalsiyum silikat hidrat (K-S-H) ve kalsiyum sülfat hidratlarıdır. KH, hidrate olmuş çimento hamurundaki katıların hacminin yüzde 20 ila 25'ini oluşturur (Mehta ve Monteiro, 2006). Hidrate olmuş çimento hamuru üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, KH ile ilgili çalışmalar (Gönül, 2008; Gallucci ve Scrivener, 2007; Skalny vd., 2001; Carde ve François, 1997; Hernandez vd., 2018; Sacki ve Monteiro, 2005; Yan-Rong vd., 2016; Müller vd., 2018; Kunther vd., 2017; Marchand, 2001; Diamond, 2004; Wu vd., 2016; Belkowitz ve

Armentrout, 2010; Ye vd., 2007) çok sınırlı olmuştur.

KH, K-S-H'nin aksine, belirli bir stokiyometrisi (Ca(OH)_2) olan bir bileşiktir. Ayırt edilebilen altıgen prizma morfolojisine sahip büyük kristaller şeklinde oluşma eğilimindedir (Mehta ve Monteiro, 2006). KH, hidrasyon ürünlerinin en çözünbilir olanıdır. Sayısal simülasyonlar, KH çözünmesinin, hidrate olmuş çimento hamurunun porozitesinde belirgin bir artışa neden olduğunu açıkça göstermektedir. Porozitedeki bu artışın malzemenin taşınım özellikleri üzerinde zararlı bir etkisi vardır (Marchand, 2001). Ayrıca, K-S-H ile karşılaştırıldığında, KH'nin dayanım artırıcı potansiyeli, oldukça düşük yüzey alanı nedeniyle sınırlıdır (Mehta ve Monteiro, 2006). KH, potansiyel çatlak ilerlemesi için alan sağlayabilmekte, böylece dayanımda azalmaya da yol açabilmektedir. Yüksek yoğunluklu sistemlerde aşırı kritik çatlakların oluşması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle, KH sertleşmiş betonun en zayıf ürünüdür ve mekanik özelliklerini sınırlamaktadır (Slamečka ve Škvára, 2002).

Mikro-strüktürel gözlemler, betonun üç fazlı bir model olarak temsil edilebileceğini ortaya koymaktadır: çimento hamuru fazı, agrega fazı ve bu ikisini birbirine bağlayan ve ara yüzey bölgesi olarak adlandırılan faz. Ara yüzey bölgesi, agrega parçacıklarını çevrelemekte ve kalınlığı 50 μm 'e kadar çıkabilmektedir (Alexander ve Mindess, 2005). Ara yüzey bölgesini çimento hamurundan ayıran en önemli özelliği daha büyük kristal boyutları (özellikle KH) ve boşlukları olmasıdır. Ara yüzey bölgesindeki kristallerin boyutu, betonun makroskopik özelliklerini doğrudan etkileyen çok önemli bir parametredir. HAK dozajının betonun makroskopik özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, HAK dozajının ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi hakkında yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, HAK dozajının ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yöntem

Beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışma kapsamında, üç farklı HAK dozajlı (çimentonun kütleli %'si olarak) ve üç farklı A_{iri}/A (iri agrega/tüm agrega) oranlı dokuz beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve oranları Tablo 1'de verilmiştir. Beton karışımları bileşenlerini orantılamada "mutlak hacim yöntemi" kullanılmıştır. Her bir beton

karışımının yüksek dayanımlı, yarı hafif ve minimum 2.5 cm çökme değeri olması hedeflenmiştir. Beton karışımları bileşenlerinin nihai oranları, bu hedefler doğrultusunda hazırlanan deneme beton karışımları sınıdıktan sonra belirlenmiştir. Beton karışımlarında, TS EN 197-1 (2002)'e uygun, normal erken dayanımlı katkısız portland çimentosu kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve oranları

Hazırlanan Beton Karışımları	Bileşenlerin Oranları ve Oranları											
	Bileşenlerin Oranları				Bileşenlerin Oranları (1000 dm ³ beton karışımında)							
	Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı / Çimento (HAK/C) Kütleli Oran (%)	İri Agrega / Tüm Agrega (A _{iri} /A) Hacimsel Oran (%)	Su / Çimento (S/C) Kütleli Oran (%)	Çimento Kütleli (kg)	Çimento Hacmi (dm ³)	İri Agrega (bazık pomza) Kütleli (kg)	İri Agrega (bazık pomza) Hacmi (dm ³)	İnce Agrega (dere kumu) Kütleli (kg)	İnce Agrega (dere kumu) Hacmi (dm ³)	Su + Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı Kütleli (kg)	İri Agrega Doyma Suyu Kütleli (kg)	İnce Agrega Doyma Suyu Kütleli (kg)
BK 1	1.00	40	30	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
BK 2	1.25	40	30	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
BK 3	1.50	40	30	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
BK 4	1.00	50	30	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
BK 5	1.25	50	30	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
BK 6	1.50	50	30	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
BK 7	1.00	60	30	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510
BK 8	1.25	60	30	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510
BK 9	1.50	60	30	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510

Tablo 2. Beton karışımlarında kullanılan çimentonun özellikleri

Beton Karışımlarında Kullanılan Çimentonun Özellikleri (TS EN 197-1'e Uygun, Normal Erken Dayanımlı Katkısız Portland Çimentosu)					
Dayanım Özellikleri		Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellikler	
2 günlük basınç dayanımı	31.0 Mpa	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.12	Erimez kalıntı (%)	0.55
7 günlük basınç dayanımı	39.5 Mpa	Priz başlangıcı (saat)	2.15	SO ₃ (%)	2.38
28 günlük basınç dayanımı	46.5 Mpa	Priz bitişi (saat)	3.35	Cl (%)	0.0085
		Hacim sabitliği (mm)	1.2	Kızdırma kaybı (%)	2.65
		Özgül yüzey (cm ² /g)	3395		

Beton karışımlarında kullanılmadan önce dere kumu agregası etüvde tamamen kurutulmuştur. Hafif agregaların ise beton karışımlarında kullanılmadan önce on dakika su emdirilmeleri önerilmektedir. Ancak, beton karışımlarında yüksek dozajda çimento kullanıldığı ve 30-35 °C'lik ortam sıcaklığında üretim gerçekleştirildiği için bu sürenin yeterli

olmayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle bazık pomza agregasının etüvde tamamen kurutulup otuz dakika su emdirildikten sonra kullanılması tercih edilmiştir. Agregaların doyma suyu miktarları sonradan beton karışımlarına eklenmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 3'de, bazık pomza agregasının kimyasal içeriği ve oranları

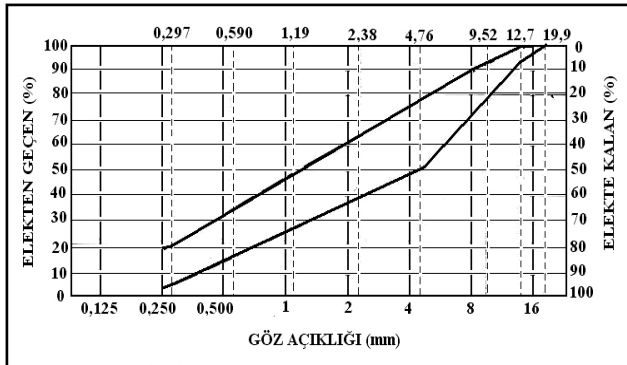
ise Tablo 4’de verilmiştir. Şekil 1’de ise ASTM C 330 (2000)’de önerilen ve bu çalışmada kullanılan ATBD (agrega tane boyutu dağılımı) eğrileri verilmiştir.

Tablo 3. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

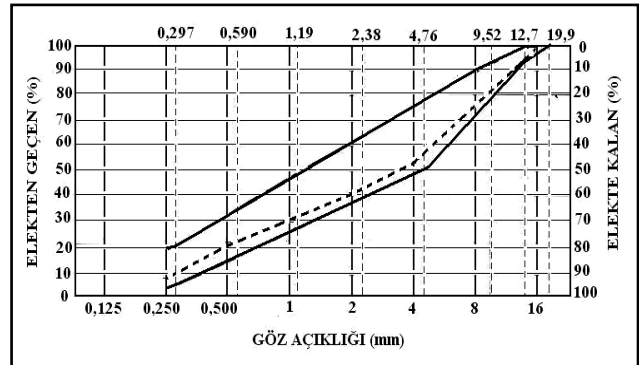
Beton Karışımlarında Kullanılan Agregalar	Fiziksel Özellikler					
	En Büyük Tane Boyutu (mm)	Gevşek Yığın Yoğunluğu (Mg/m ³)	Su Muhtevası (%)	Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	24 Saat Sonunda Su Emme Değerleri (%)	Şekil İndisi
Bazik pomza (iri agrega)	16	0.864	0.89	1.819	10.884	10
Dere kumu (ince agrega)	4	1.707	1.96	2.538	2.538	-

Tablo 4. Beton karışımlarında kullanılan bazik pomza agregasının kimyasal içeriği ve oranları

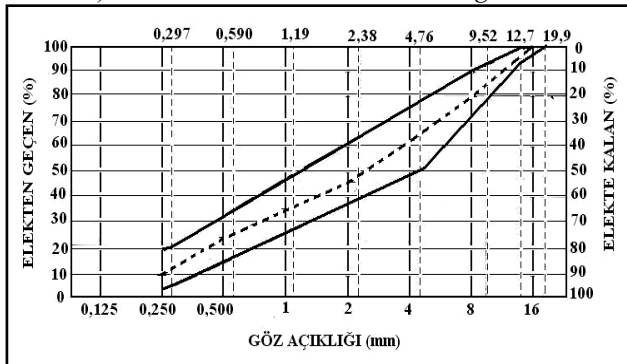
Beton Karışımlarında Kullanılan Bazik Pomza Agregasının Kimyasal İçeriği	Oranlar (%)
SiO ₂ (toplam)	45.06
Erimez kalıntı	59.53
Al ₂ O ₃	13.34
Fe ₂ O ₃	12.80
CaO	12.05
MgO	7.41
SO ₃	0.36
Kızdırma kaybı	1.01
Na ₂ O	2.88
K ₂ O	1.32



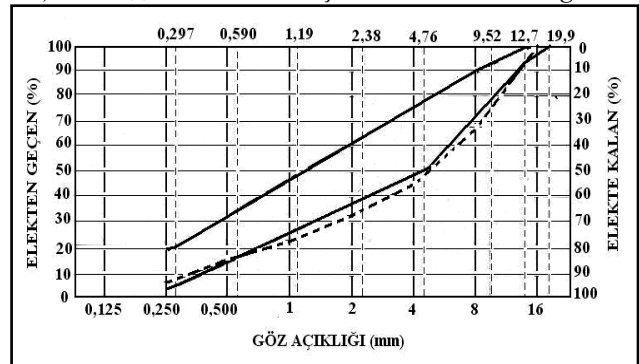
a) ASTM C 330’da önerilen ATBD eğrileri



c) %50 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisi



b) %40 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisi



d) %60 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisi

Şekil 1. ASTM C 330’da önerilen ve bu çalışmada kullanılan ATBD (agrega tane boyutu dağılımı) eğrileri

Beton karışımlarında, TS EN 934-2 (2002)'e uygun polikarboksilat esaslı HAK kullanılmıştır.

TEM numunelerinin hazırlanması ve ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun belirlenmesi

Betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu, taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile alınan görüntüler aracılığıyla mikro düzeyde belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, öncelikle 100x100x500 mm boyutlu kiriş numuneler hazırlanmış ve TEM numuneleri bu kiriş numunelerden alınmıştır.

Kiriş numuneler için kalıplar hazırlanmış, hazırlanan beton karışımları bu kalıplara doldurulmuş ve sıkıştırılmış (titreşim masası ile), yüzeyleri tesviye edilmiş ve küre tabi tutulmuşlardır. Bu işlemler, TS EN 12390-1 (2002) ve TS EN 12390-2 (2002)'de belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kiriş numuneler, bir yıl boyunca normal ortam koşulları altında laboratuarda tutulmuştur.

TEM numuneleri bu kiriş numunelerden 50 mm'lik küpler şeklinde alınmıştır. Bu küp numuneler, yağlı kesim yapan elmas uçlu testere ile iki kez küçültülerek 10x25x50 mm boyutuna getirilmiştir. Kesilen numuneler; parlatılmış, hidratasyon gelişiminin durdurulması için metil alkol ile silinmiş, iletkenliğinin azaltılması için altın ile kaplanmış ve etüvde kurutulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. TEM numunelerinin hazırlanması

TEM cihazından iki çeşit görüntü alınabilmektedir. Bunlardan biri "Scatter Electron Image" (SEI) diğeri ise "Backscatter Electron Image" (BSEI) olarak adlandırılan görüntülerdir. BSEI, elementlerin atomik numaralarına karşı duyarlı olma esasına dayanan bir görüntü çeşididir. Düşük atomik numaraları olan fazlar koyu renkli görünürken, yüksek atom numarasına sahip olanlar ise daha açık renkte ve parlak görünmektedirler. SEI, üç boyut etkisini daha fazla veren, kalitesi daha yüksek olan görüntüdür. Bu nedenle, morfolojik özelliklerin belirlenmesinde SEI tercih edilmektedir. Bu çalışmada "LEO 440" TEM cihazından alınan SEI kullanılmıştır. Ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun belirlenebilmesi için TEM numunelerinin her birinden 6 görüntü alınmıştır. Böylece toplamda 10000x büyütme oranında 54 görüntü alınmıştır.

Numunelerden görüntü alınacak düzlem, beton döküm yönüne göre belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda, TEM görüntüleri genelde numunelerin beton döküm yönüne dik düzleminden alınmıştır. Bu araştırmada ise, kanama olayı gözetilerek, TEM görüntüleri numunelerin beton döküm yönüne paralel düzleminden alınmıştır.

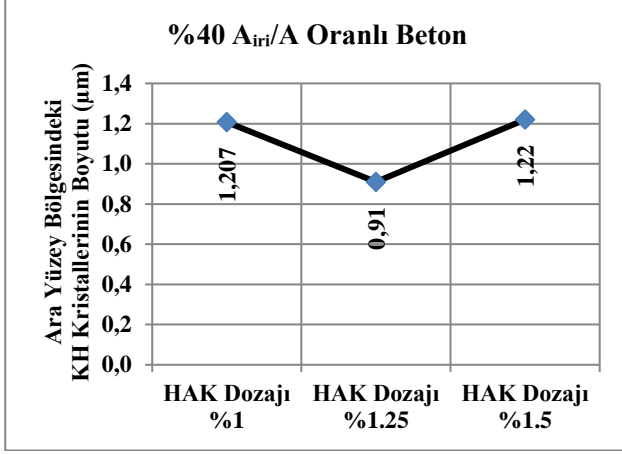
Bu çalışmada, KH kristallerinin boyutu ile ilgili nicel veriler doğrudan ölçüm ile TEM görüntülerinden elde edilmiştir. Her bir KH kristalinin boyutu birbirine dik iki yönde ölçülen boyutların ortalaması alınarak belirlenmiştir. Her bir TEM numunesinin ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu ise, bu bölgedeki en büyük üç KH kristalinin boyutlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Bulgular ve tartışma

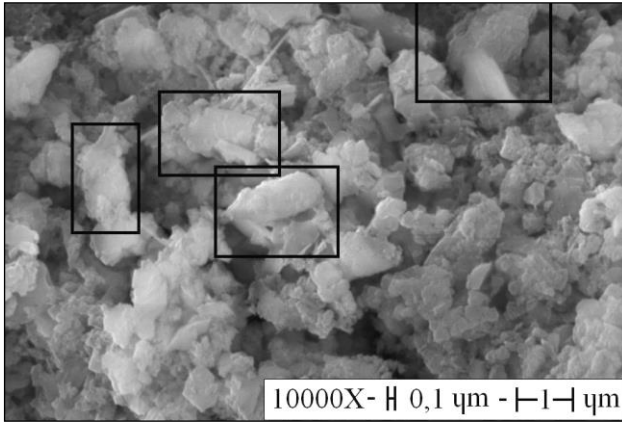
HAK dozajının %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi Şekil 3'de verilmiştir. %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri ise Şekil 4'de verilmiştir.

HAK dozajı %1 olan %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin

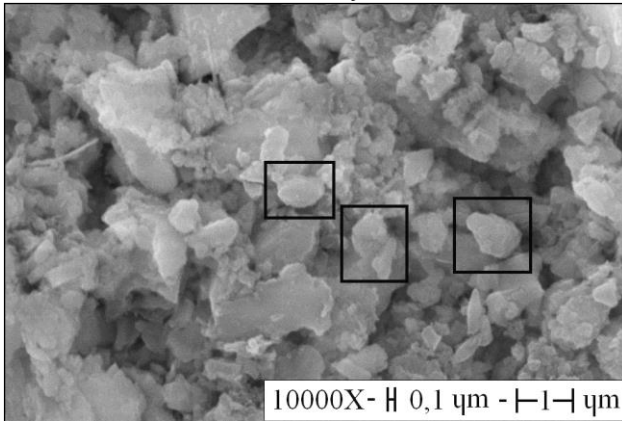
boyutunun 1.207 μm olduğu tespit edilmiştir. HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması KH kristallerinin boyutunu %25 düşürmüş, %1.5'e çıkarılması ise KH kristallerinin boyutunu %1 arttırmıştır.



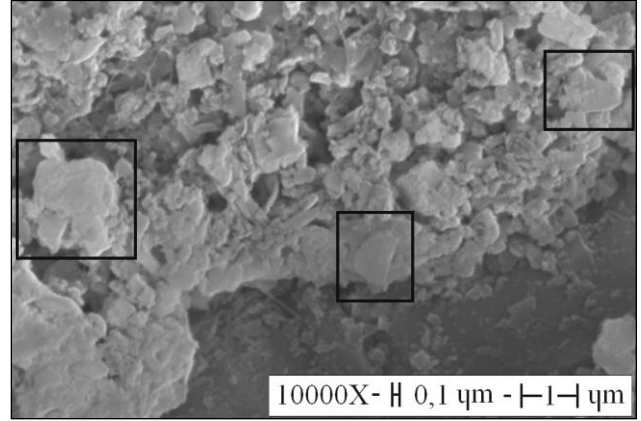
Şekil 3. HAK dozajının %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi



(a) HAK dozajı %1



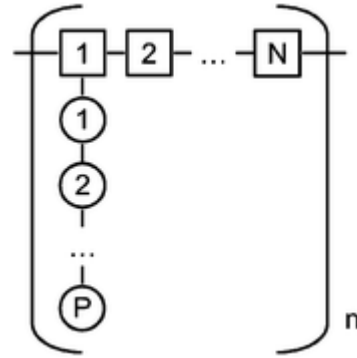
(b) HAK dozajı %1.25



(c) HAK dozajı %1.5

Şekil 4. %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri

Polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcılar, karboksilat fonksiyonları taşıyan adsorptif bir omurga zinciri ve hidrofilik polietilen oksit yan zincirlerden oluşan kopolimerlerdir (Shui vd., 2016). Tarak tipli bu kopolimerlerin şematik gösterimi Şekil 5'de verilmiştir. Omurga, adsorpsiyonu esas olarak yüzeylerle elektrostatik etkileşimler yoluyla sağlarken, yan zincirler adsorbe edilmeyen ve adsorbe edilen katmanlar arasında sterik engel oluşturan kısımdır (Marchon vd., 2013).



Şekil 5. Tarak tipli kopolimerlerin şematik gösterimi - Kopolimer, omurga zincirde N monomerli n segment içerir, her segment P monomer içeren bir yan zincire sahiptir. (Marchon vd., 2013)

Akışkanlaştırıcı katkı kullanılmayan betonda, pozitif ve negatif yüklü çimento parçacıkları birbirlerine çekilerek topaklanma gerçekleşebilmektedir. Çimento parçacıklarının

topaklanması karışım suyunun bir kısmının aralarında sıkışmasına, bu da işlenebilirlik ve çimento hidratasyonu için daha az miktarda su kalmasına yol açmaktadır. Betona akışkanlaştırıcı katkının katılmasıyla, çimento parçacıklarının topaklaşması önlenir veya en aza indirilir. Bu kimyasal katkılar çimento parçacıkları tarafından adsorbe edildiğinde birbirlerinden uzaklaşırlar. Çimento parçacıklarının dağılmasıyla birlikte, aralarında sıkışan su serbest kalır ve işlenebilirlik ve çimento hidratasyonu için kullanılabilir hale gelir. Bununla birlikte, hidrasyona maruz kalan çimento parçacığı yüzey alanı da artmış olur (Jun, 2008).

Portland çimentosu, trikalsiyum alüminat (K_3A), trikalsiyum silikat (K_3S), dikalsiyum silikat (K_2S) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (K_4AF) gibi birçok reaktif fazdan oluşan kompleks bir malzemedir (Liu vd., 2015). KH, K_3S 'nin ve daha az ölçüde de K_2S 'nin hidratasyonundan oluşur (Thomas ve Jennings, 2009). K_3S , su ile temas ettikten hemen sonra hidrate olmaya başlar, K_2S ise hidratasyon sürecinin erken dönemlerinde o kadar aktif değildir (Jun, 2008). K_3S 'nin hidratasyonu, hidrate olmamış K_3S 'nin çözünmesi ve KH ile K-S-H oluşturacak şekilde çökmesi ile ilerler. Hidrate olmamış K_3S su ile temas etmeye başladığında, K_3S 'nin ilk çözünmesi ile ilişkili olarak birkaç dakika süren bir ısı patlaması olur. Bu devre 'indüksiyon öncesi devre' olarak adlandırılır. Bu devreyi birkaç saat süren ve düşük ısı çıkışının olduğu indüksiyon devresi takip eder. Daha sonra, hidratasyon hızı maksimum bir değere yükselir ve sonrasında düşer (Liu vd., 2015).

K_3S 'nin hidratasyon kinetiği, HAK'ın varlığında değişir. Önceki çalışmalar, K_3S 'nin yanı sıra hidrate olmuş fazının da başlangıç zeta potansiyelinin negatif olduğunu, dolayısıyla anyonik HAK'ın bu fazlara doğrudan adsorbe olamayabileceğini ortaya koymaktadır. HAK'ın hidrate olan K_3S 'nin üzerine adsorbe olma miktarının hidratasyon gelişimi ile birlikte artan KH veya K-S-H miktarlarına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu, K_3S 'nin hidratasyonu

sırasında Ca^{2+} 'nın serbest kalması ve K-S-H fazının yüzeyinde Ca^{2+} katmanının oluşması ile ilgili olabilir. Bu nedenle, HAK indüksiyon devresini uzatmakta, hidratasyonun başlangıç devresinde KH kristalleşmesini ve K-S-H oluşumunu geciktirmektedir. Ayrıca, HAK'ın varlığında oluşan KH kristallerinin ortalama boyutu, HAK'ın yokluğunda oluşan KH kristallerine kıyasla nispeten daha küçüktür. Bu, HAK'ın KH çekirdeklenme bölgelerinde adsorbe edildiğini ve hidratasyonun başlangıç devresinde bu kristallerin normal büyümesini engellediğini göstermektedir (Liu vd., 2015).

HAK'ın taze beton karışımındaki etkisi, dozajına ve karışım içindeki dağılımına bağlıdır. Çok düşük dozun taze karışımın reolojik davranışına bir etkisi olmamakta, diğer taraftan çok yüksek dozun ise kanama ve segregasyon gibi zararlı etkileri olabilmektedir. Yamada vd. beton karışımında HAK'ın kritik ve doyguluk dozları olduğu görüşündedirler. Kritik dozajın altında, karışım HAK eklenmemiş gibi davranacaktır. Doyguluk dozajı ise, HAK'ın daha fazla ilave edilmesinin, beton karışımının reolojik davranışının gelişimine yol açmayacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, HAK dozajı ayrıca bir üst sınır değerine sahip olmalıdır çünkü yüksek dozaj aşırı kanamadan dolayı karışımın kohezyonunu azaltmakta, çimento hamurunun viskozitesini düşürmekte ve bunların sonucu olarak segregasyona yol açmaktadır (Antoni vd., 2017).

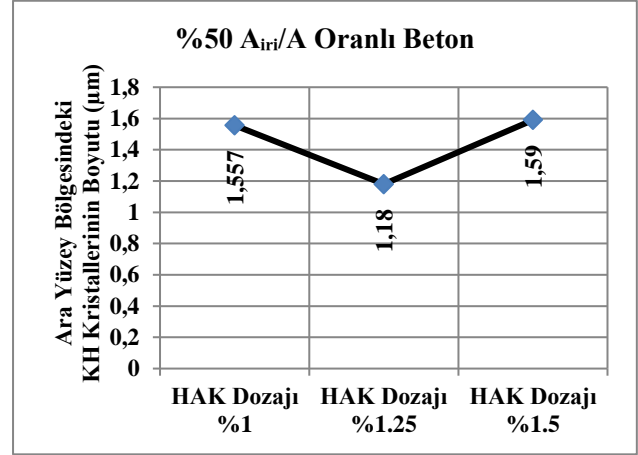
Bu çalışmada, HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunu düşürmüş, %1.5'e çıkarılması ise KH kristallerinin boyutunu arttırmıştır. Bu durumun nedeni çimento hidratasyon mekanizması ile açıklanabilir. Betonun bu kadar faydalı bir malzeme olmasını sağlayan özelliklerinden biri, çimento hamurunun hidrate olma sürecinde hacminde neredeyse hiçbir net değişiklik olmamasıdır. Aksi durumda, boyutu zamanla değişeceğinden beton yapıyı yerinde dökerek yapmak neredeyse imkânsız olurdu. Her bir çimento parçacığının yüzeyinden bir hidratasyon ürünü

tabakasının dışarı doğru büyümesi olan çimento hidratasyon mekanizması göz önüne alındığında, bu büyüyen katmanların temas ettiği her yerde parçacıkların birbirini iterek çimento hamurunu genişleteceği beklenebilir. Ancak, bitişik iki çimento parçacığının hidratasyon ürünü katmanları temas ettiğinde, KH ve K-S-H fazları bu yönde büyümeyi durdurur (Thomas ve Jennings, 2009).

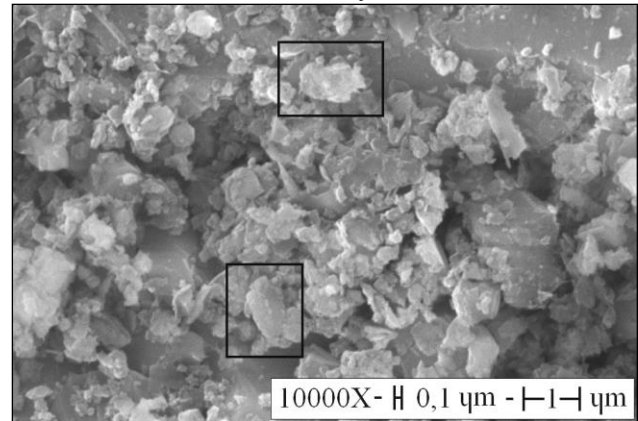
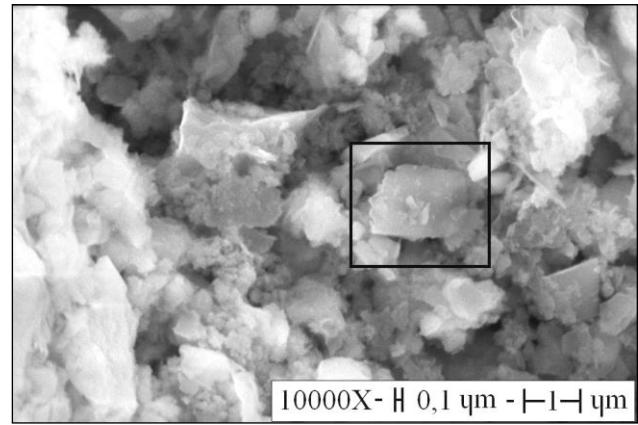
KH, esas olarak büyümesi için var olan boşluk miktarına bağlı olarak, çok çeşitli şekil ve boyutlarda kristaller olarak oluşur (Thomas ve Jennings, 2009). HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması ile betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunda gerçekleşen düşüş, HAK dozajı %1.25 olan betonun ara yüzey bölgesinde KH kristallerinin engellenmeden büyüebileceği boşluk miktarının daha az olduğunu göstermektedir. HAK dozajının %1.5'e çıkarılması ile betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunda gerçekleşen artış ise, HAK dozajı %1.5 olan betonun ara yüzey bölgesinde KH kristallerinin engellenmeden büyüebileceği boşluk miktarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu anlamda, HAK'ın belirli bir dozaja kadar kullanılması ile ara yüzey bölgesindeki çimento parçacıkları aralarında daha az boşluk kalacak şekilde dağılmaktadırlar. HAK'ın belirli bir dozajın üstünde kullanılması ise ara yüzey bölgesindeki çimento parçacıkları arasındaki boşluğun daha fazla olmasına yol açmaktadır. HAK'ın belirli bir dozajın üstünde kullanılmasının ara yüzey bölgesindeki kanamayı arttırdığı düşünülmektedir. Kanamanın artması ile ara yüzey bölgesinin S/Ç oranı artmaktadır. Richardson'a göre, S/Ç oranı yüksek olduğunda fazla miktarda su ve boşluk olacağından hidratların büyümesi engellenmeyecek ve büyük boyutlu kristaller oluşacaktır (Aitcin, 2016).

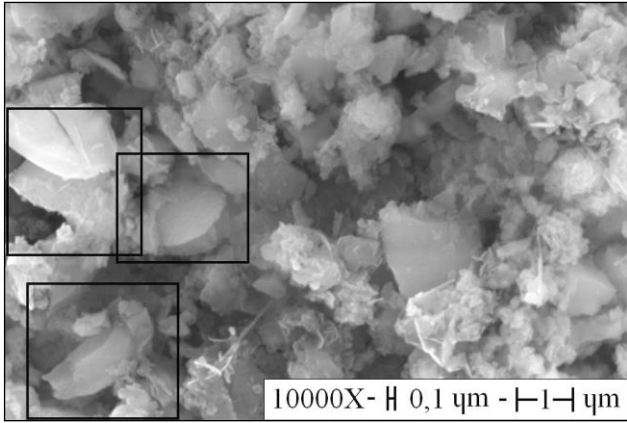
HAK dozajının, %50 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi Şekil 6'da, %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi ise Şekil

8'de verilmiştir. %50 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri Şekil 7'de, %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri ise Şekil 9'da verilmiştir.

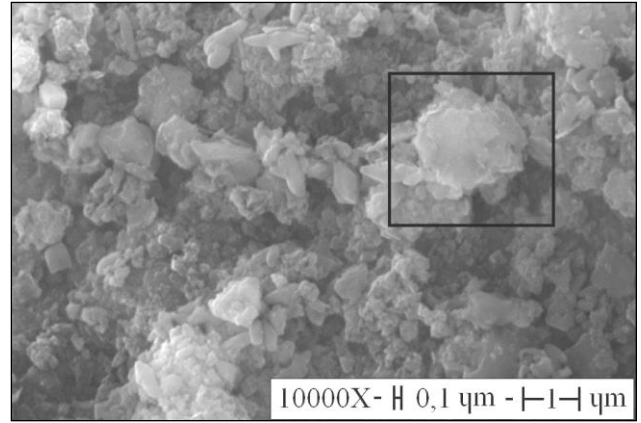


Şekil 6. HAK dozajının %50 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi





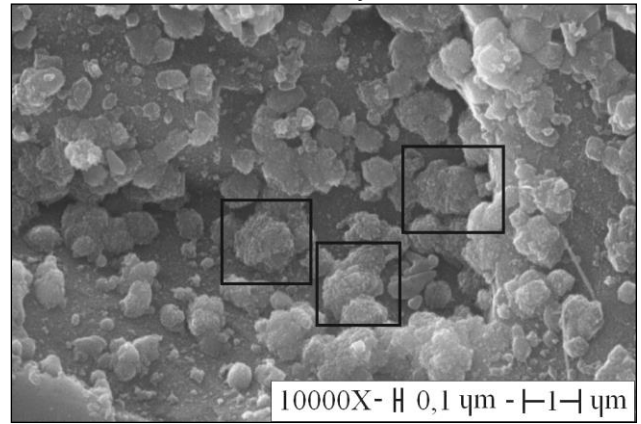
(c) HAK dozajı %1.5



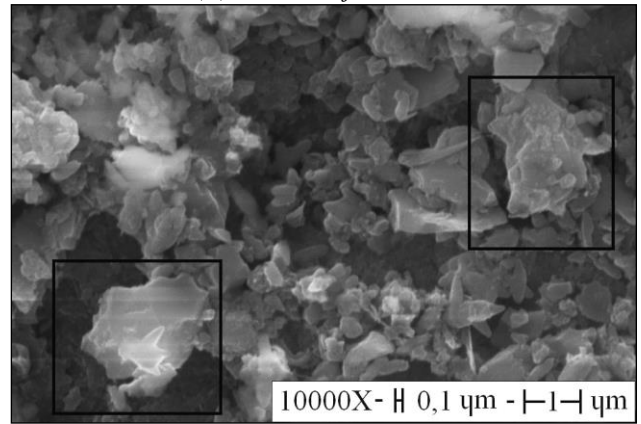
(a) HAK dozajı %1

Şekil 7. %50 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri

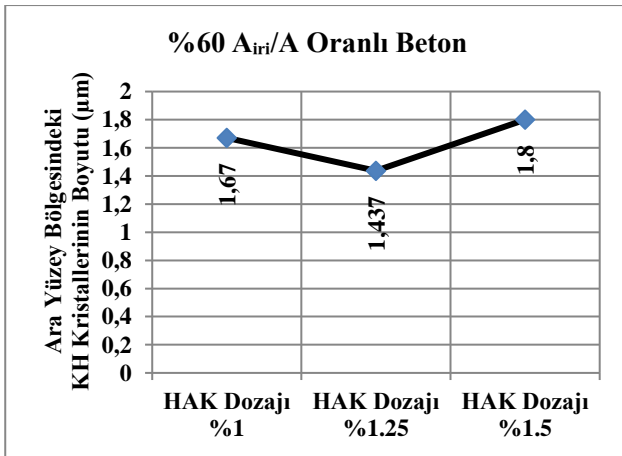
HAK dozajı %1 olan %50 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun $1.557 \mu\text{m}$ olduğu tespit edilmiştir. HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması KH kristallerinin boyutunu %24 düşürmüş, %1.5'e çıkarılması ise KH kristallerinin boyutunu %2 arttırmıştır. HAK dozajı %1 olan %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun ise $1.67 \mu\text{m}$ olduğu tespit edilmiştir. HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması KH kristallerinin boyutunu %14 düşürmüş, %1.5'e çıkarılması ise KH kristallerinin boyutunu %8 arttırmıştır.



(b) HAK dozajı %1.25



(c) HAK dozajı %1.5



Şekil 8. HAK dozajının %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi

Şekil 9. %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin TEM görüntüleri

HAK dozajının %50 ve %60 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi, %40 A_{iri}/A oranlı betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi ile aynıdır. Bununla birlikte, betonun A_{iri}/A oranı arttığında ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun arttığı görülmektedir.

Agrega gradasyonunda, iri agreganın en büyük tane boyutunda bir değişiklik olmadan ve S/Ç oranı sabit tutularak yapılan değişikliğin, beton karışımının kanama özelliklerinde bir değişikliğe neden olduğu düşünülmektedir. İri agrega tanelerinin etrafındaki kanama, betonun A_{iri}/A oranı arttığında artmıştır. Bu durumda, ara yüzey bölgesinin S/Ç oranı artmış, bu da daha büyük KH kristallerinin oluşumuna yol açmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada, üç farklı HAK dozajının (%1, %1.25 ve %1.5) üç farklı A_{iri}/A oranlı (%40, %50 ve %60) betonun ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. HAK dozajının %1'den %1.25'e çıkarılması ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunu ortalama %21 oranında düşürmüştür, %1.5'e çıkarılması ise ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunu ortalama %3.7 oranında arttırmıştır. Bununla birlikte, betonun A_{iri}/A oranı arttıkça ara yüzey bölgesindeki KH kristallerinin boyutunun arttığı da tespit edilmiştir.

Bir malzemenin mikro-strüktürü prosesine (bir malzemenin nasıl üretildiğine), özellikleri (bir malzemenin nasıl davrandığı) ise mikro-strüktürüne bağlıdır. Böylece, mikro-strüktür, proses ve özellikler arasında bir bağlantı sağlar. Büyük KH kristalleri daha boşluklu bir yapı oluşturur ve düşük yüzey alanı ve buna bağlı olarak zayıf van der Waals çekim kuvvetleri nedeniyle daha düşük aderans kapasitesine sahiptir. KH aynı zamanda en fazla çözünebilen hidratasyon ürünüdür ve bu nedenle betonda zayıf bir halkadır. HAK'ın uygun dozajda kullanılması ile ara yüzey bölgesindeki KH kristalleri daha küçük olan beton üretilebilecektir. Bunun sonucunda da betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılığı ile ilgili özelliklerine önemli bir katkı sağlanacağı açıktır.

Bundan sonraki çalışmalarda, HAK dozajının diğer hidratasyon ürünleri üzerindeki etkisinin araştırılacağı çalışmaların faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Aitcin, P.C., (2016). *Portland cement*, in Aitcin, P.C., Flatt, R.J., eds, *Science and Technology of Concrete Admixtures*, Elsevier Ltd., UK.
- Alexander, M. ve Mindess, S., (2005). *Aggregates in concrete*, Taylor & Francis, USA.
- Antoni, Halim, J.G., Kusuma, O.C. ve Hardjito, D., (2017). Optimizing polycarboxylate based superplasticizer dosage with different cement type, *Procedia Engineering*, 171, 752-759.
- ASTM C 330-00, (2000). Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete, *American Standards*, Philadelphia.
- Bauchkar, S.D. ve Chore, H.S., (2018). Effect of PCE superplasticizers on rheological and strength properties of high strength self-consolidating concrete, *Advances in Concrete Construction*, Vol.6, 6, 561-583.
- Belkowitz, J.S. ve Armentrout, D., (2010). An investigation of nano silica in the cement hydration process, *Proceedings, Concrete Sustainability Conference, National Ready Mixed Concrete Association*, USA.
- Carde, C. ve François, R., (1997). Effect of the leaching of calcium hydroxide from cement paste on the mechanical and physical properties, *Cement and Concrete Research*, 27, 539-550.
- Diamond, S., (2004). The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer, *Cement and Concrete Composites*, 26, 919-933.
- Gallucci, E. ve Scrivener, K., (2007). Crystallisation of calcium hydroxide in early age model and ordinary cementitious systems, *Cement and Concrete Research*, 37, 492-501.
- Gönül, H., (2008). Bazalt skoriasının taşıyıcı yarı hafif beton üretiminde kullanımı, *Doktora tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hernandez, N., Lizarazo-Marriaga, J. ve Rivas, M.A., (2018). Petrographic characterization of Portlandite crystal sizes in cement pastes affected by different hydration environments, *Construction and Building Materials*, 182, 541-549.
- Jun, S.D., (2008). Effect of a newly developed lignosulphonate superplasticizer on properties of cement pastes and mortars, *Yüksek Lisans Tezi*, National University of Singapore, Engineering Department of Civil Engineering, Singapore.
- Kunther, W., Ferreiro, S. ve Skibsted, J., (2017). Influence of the Ca/Si ratio on the compressive strength of cementitious calcium-silicate-hydrate binders, *Journal of Materials Chemistry A*, 5, 17401-17412.

- Liu, M., Lei, J., Guo, L., Du, X. ve Li, J., (2015). The application of thermal analysis, XRD and SEM to study the hydration behavior of tricalcium silicate in the presence of a polycarboxylate superplasticizer, *Thermochemica Acta*, 613, 54-60.
- Marchand, J., Bentz, D.P., Samson, E. ve Maltais, Y., (2001). *Influence of calcium hydroxide dissolution on the transport properties of hydrated cement systems* in Skalny, J., Gebauer, J. ve Odler, I., eds, *Material science of concrete, special volume: Calcium hydroxide in concrete*, The American Ceramic Society, 113-129, Westerville.
- Marchon, D., Sulser, U., Eberhardt, A. ve Flatt, R.J., (2013). Molecular design of comb-shaped polycarboxylate dispersants for environmentally friendly concrete, *Soft Matter*, 9, 10719-10728.
- Mehta P.K. ve Monteiro, P.J.M., (2006). *Concrete - microstructure, properties, and materials*, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- Müller, T., Krämer, C., Pritzel, C., Bornemann, R., Kowald, T.L., Trettin, R.H.F. ve Bolívar, P.H., (2018). Influence of cocamidopropyl betaine on the formation and carbonation of portlandite – A microscopy study, *Construction and Building Materials*, 163, 793-797.
- Sacki, T. ve Monteiro, P.J.M., (2005). A model to predict the amount of calcium hydroxide in concrete containing mineral admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35, 1914-1921.
- Shui, L., Yang, X., Sun, Z., Ji, Y., Yang, H. ve Luo, Q., (2016). Experimental evidence for a possible dispersion mechanism of polycarboxylate-type superplasticisers, *Advances in Cement Research*, Volume No.28, Issue No.5, 287-297.
- Skalny, J., Gebauer, J. ve Odler, I., eds. (2001). *Material science of concrete, special volume: Calcium hydroxide in concrete*, The American Ceramic Society, Westerville.
- Thomas, J.J. ve Jennings, H., (2009). *Materials of cement science primer - The science of concrete*, Northwestern University Infrastructure Technology Institute, USA.
- TS EN 12390-1, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-2, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabii tutulması, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 197-1, (2002). Genel çimentolar - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 934-2, (2002). Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton katkıları - Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, *Türk Standartları*, Ankara.
- Slamečka, T. ve Škvára, F., (2002). The effect of water ratio on microstructure and composition of the hydration products of Portland cement pastes, *Ceramics – Silikáty*, 46, 4, 152-158.
- Wu, K., Shi, H., Xu, L., Ye, G. ve Schutter, D.G., (2016). Microstructural characterization of ITZ in blended cement concretes and its relation to transport properties, *Cement and Concrete Research*, 79, 243-256.
- Yan-Rong, Z., Xiang-Ming, K., Zi-Chen, L., Zhen-Bao, L., Qing, Z., Bi-Qin, D. ve Feng, X., (2016). Influence of triethanolamine on the hydration product of portlandite in cement paste and the mechanism”, *Cement and Concrete Research*, 87, 64-76.
- Ye, Q., Zhang, Z., Kong, D. ve Chen, R., (2007). Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume, *Construction and Building Materials*, 21, 539-545.

Effect of hyper plasticizer admixture dosage on size of calcium hydroxide

Extended abstract

Hyper plasticizer admixtures (HPA) are chemicals that improve the workability of the paste. They allow a lower water/cement ratio to be used for a given workability, resulting in higher-quality concrete.

HPA affects not only the rheological behavior of cement paste, but also its hydration characteristic. The hydrated cement paste is composed of hydration products, pores and, some unhydrated clinker grains. Calcium hydroxide (CH) is one of the main hydration products. The others are calcium silicate hydrate (C-S-H) and calcium sulfoaluminates hydrates. CH constitutes 20 to 25 percent of the volume of solids in the hydrated cement paste (Mehta ve Monteiro, 2006).

Microstructural observations reveal that concrete can be represented as a three-phase model: a bulk cement paste phase, an aggregate phase, and a phase linking these two, referred to as interfacial transition zone. This zone is up to 50 μm thick and surrounds the aggregate particles (Alexander and Mindess, 2005). Most important features that differentiate interfacial transition zone from bulk cement paste are larger pores and crystal dimensions; particularly of CH. The size of the crystals in the interfacial transition zone is a very important parameter that directly affects the macroscopic properties of concrete. Although many studies have been conducted on the effect of HPA dosage on the macroscopic properties of concrete, no studies have been conducted on the effect of HPA dosage on the size of CH crystals in the interfacial transition zone. In this study, the effect of HPA dosage on the size of CH crystals in the interfacial transition zone was investigated.

In this context, nine concrete mixtures with three different HPA dosages (%1, %1.25 and %1.5) and three different A/A (coarse aggregate / whole aggregate) ratios (%40, %50 and %60) were prepared. The size of CH crystals in the interfacial transition zone of concrete was determined by scanning electron microscopy (SEM) images.

It was determined that in all concrete specimens that have three different A/A ratios, increasing the dosage of HPA from %1 to %1.25 significantly

decreased the size of CH crystals in the interfacial transition zone while increasing the dosage of HPA to %1.5 increased the size of CH crystals in the interfacial transition zone. On the other hand, the size of CH crystals in the interfacial transition zone was found to be increased when the A/A ratio of concrete was increased.

The reason of this situation can be explained by the mechanism of cement hydration. One of the characteristics of concrete that make it such a useful material is the fact that there is almost no net change in volume as the cement paste hydrates. If this were not the case, it would be almost impossible to cast concrete structures in place since the size of the structure would change over time. Given the mechanism of cement hydration, which is that a layer of hydration product grows outward from the surface of each cement particle, one might expect that wherever two of these growing layers came into contact they would push the particles apart, causing the paste to expand. Fortunately, when the layers of hydration product from two adjacent cement particles come into contact, the CH and C-S-H phases stop growing in that particular direction. In this manner, CH forms as crystals with a wide range of shapes and sizes, depending primarily on the amount of space available for growth (Thomas and Jennings, 2009). In this sense, the cement particles in the interfacial transition zone are dispersed in such a way that less space is left between them by using HPA up to a certain dosage. The use of HPA over a given dosage is thought to increase the bleeding in the interfacial transition zone.

The microstructure of a material depends on the way that it is processed, and the properties depend on the microstructure. Thus the microstructure provides a link between processing (how a material is made) and properties (how a material behaves). Large CH crystals form a more porous framework, and possess less adhesion capacity because of the lower surface area and correspondingly weak van der Waals forces of attraction. CH also is the most soluble of the hydration products, and thus is a weak link in concrete. By using the appropriate dosage of HPA, concrete with smaller CH crystals in its interfacial transition zone can be produced. This obviously makes a significant contribution to the physical, mechanical and durability properties of concrete.

Keywords: concrete, interfacial transition zone, hyper plasticizer admixture, calcium hydroxide crystals, admixture dosage, crystal size

Karst ani taşkınları

Karst flash floods

Muhterem Demiroglu

Hakkari Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hakkari, muhteremdemiroglu@hakkari.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Aralık 2019
Revizyon: 16 Ocak 2020
Kabul: 27 Ocak 2020

Anahtar kelimeler:

Karst, Karst ani taşkını, Şiddetli yağış

ÖZET

Doğal olan sel ve taşkın olayları, iklim değişikliğine bağlı şiddetli yağışların artması, bitki örtüsünün yok edilmesi, plansız şehirleşme, dere yataklarındaki yapılaşmadan dolayı can ve mal kaybına yol açan afetlere dönüşmektedir. Karstik akiferlerin etkisinin önemli rol oynadığı şiddetli sağanak yağışlar sonucu oluşan taşkınlar, karst ani taşkınları olarak adlandırılmaktadır. Ani taşkınların, kısa süreli, küçük alansal dağılımı, azami akış değeri ve hızı ile ağır can ve mal kaybına sebep olmaları karakteristik özellikleridir. Yeraltı suyu akışı için düşük dirençli yollar sağlayan karstik akiferlerin iletim kanalları akışı genellikle yüzey suları ile yeraltı suyundan daha fazla örtüşmektedir. Karstik arazilerde ani taşkınlara yeraltı suyu etkisi, karstik olmayan bir araziden çok büyük olmaktadır. Şiddetli yağışlarla hızla beslenimi olan karstik akiferlerde ani yeraltı suyu seviyesi yükselimi, fosil karst iletim kanallarını faaliyete geçirecek çok sayıda karstik kaynak oluşturmaktadır. Bu şekilde hesaplanamayan miktarda yeraltı suyunun yüzey suyuna ilave olması, kontrol edilemeyen büyüklükte ani taşkınlara sebep olmaktadır. İnsanı doğrudan etkileyen ve yeraltı suyu etkisi yeterince anlaşılammış en tehlikeli afetlerden biri olan karst ani taşkınlarının kontrol edilmesi ve önlenmesi, karst akiferlerinin hidrodinamik özelliklerinin doğru anlaşılması ile mümkün olabilir. Bu çalışma ile dünyadan ve Türkiye'den örnekler verilerek karstik akiferlerin hidrodinamik özellikleri anlatılmıştır. Drenaj sistemleri, yeraltı sularının yüzey sularına olası ilave katkısı ya da şiddetli yağışlarda faaliyete geçecek çok sayıda kaynak debisi de hesaba katılarak tasarlanmalıdır.

Doi: 10.24012/dumf.658507

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 December 2019
Revised: 16 January 2020
Accepted: 27 January 2020

Keywords:

Karst, Karst flash flood,
Heavy rain,

ABSTRACT

Damages caused by flood and flash flood events increase due to the destruction of natural vegetation, unplanned urbanization, settlements in river beds, and disasters leading to loss of lives and property are becoming more common. Floods caused by heavy rainfalls where the effect of karstic aquifers plays an important role are called as karst flash floods, which are characterized by short-term, small spatial distribution, maximum flow rate and speed, and severe loss of life and property. The conduits of karstic aquifers provide low resistance paths for groundwater flow, which generally overlap surface water hydraulic properties more than groundwater. The groundwater effect on flash floods in karstic areas is much greater than non-karstic areas. Sudden rise in groundwater levels in karstic aquifers, which are recharged rapidly by heavy rainfall, creates a large number of karstic springs by operating fossil karst conduits. In this way, uncalculated amount of groundwater added to surface water, causes uncontrollable flash floods. Groundwater effect is not well understood on these most dangerous disasters which directly affects human. It can be controlled and prevented by the proper understanding of the hydrodynamic properties of karst aquifers. This study has been described by giving examples from the world and Turkey. Drainage systems should be designed taking into account the possible additional contribution of groundwater to surface water or the numerous flow rates that will be activated in case of heavy rainfall.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Muhterem Demiroglu
muhteremdemiroglu@hakkari.edu.tr

Please cite this article as M. Demiroglu, "Karst Ani Taskinlari", DUJE, vol.11, no.1, pp.431-438, March 2020.

Giriş

Son yıllarda ani taşkınlar dünyada, neredeyse her yerde meydana gelebilecek en ölümcül ve en pahalı doğal afetlerden biri olmuştur. Tüm dünyada yaşanan ani taşkınlar bu konuya özel önem verilmesini gerekli kılmıştır. Ülkemizde, doğal bitki örtüsünün yok edilmesi, plansız şehirleşme, dere yataklarına müdahale ve çarpık yapılaşmadan dolayı doğal olan sel ve taşkın olaylarının can ve mal kaybına yol açan afetlere dönüşmesi daha sık görülmektedir [1]. Batı Karadeniz’de Bolu, Zonguldak, Karabük, Kastamonu ve Bartın illerinde yaşanan sel felaketleri milyonlarca insani etkilemiş, 30 kişi hayatını kaybetmiştir. 1998 yılı Mayıs ayında meydana gelen sel olaylarında 151 dere ve ırmak taşmış, çok sayıda ev tamamen su altında kalmıştır. Geniş alanları kaplayan ve çok zarar veren bu sel olayları kadar dar alanda etkili olan ani taşkınlarda da mal ve çok sayıda can kaybı olmaktadır. 3-4 Kasım 1995 tarihlerinde 61 kişinin yaşamını yitirdiği Ege kıyılarını kapsayan şiddetli yağışların sebep olduğu ani taşkınlar İzmir ve civarında ciddi bina ve yerleşim yeri tahribatına sebep olmuştur [2][3]. İstanbul’da 9 Eylül 2009 tarihinde İstanbul Ayamama Deresi’nde yaşanan ani taşkın, suyun 6-7 m yükselmesi sonucu 31 kişinin ölümüyle sonuçlanmış ve önemli mal kaybına yol açmıştır. Bölgede uzun yıllar ortalamasının (178 mm/gün) üzerinde sağanak yağış (200.5 mm/gün) ölçülmüştür [4]. İnsanı doğrudan etkileyen ani taşkınlar henüz dünyada ve ülkemizde yeterince anlaşılammış ve kontrol edilemeyen en tehlikeli afetlerden biridir. Ani taşkınları önlemenin birçok yolu vardır ancak ne kadar iyi bir metot olursa olsun, etkisi her zaman sınırlıdır [5] [6]. Bu çalışma ile ani taşkınların özel bir türü olan karst ani taşkınları özetlenmiştir. Isparta Sütçüler karst ani taşkınının ayrıntıları anlatılmıştır. Karst ani taşkınlarının kontrol edilmesi ve önlenmesinin yolu, karst akiferlerinin hidrodinamik özelliklerinin doğru anlaşılması ile mümkün olabilir.

Karst ani taşkınlarının karakteristik özellikleri

Ani taşkınların sebebi çoğu zaman yükselim (konveksiyonel) yağış fırtınaları ya da çok şiddetli cephe yağışlarıdır. Bu yağış fırtınalarında genellikle saatler yerine dakika olarak ölçülen, kısa bir süre içinde büyük miktarda yağmurun yağması ile olur . Ani kar erimesi sonucu oluşan kuvvetli akışlar bir diğer önemli sebeptir. Topografyanın çok dik olması ve akarsu yatağına ulaşmadan önceki yüzeysel akışın çıplak ve geçirimsiz arazilerde yüksek olması ani taşkınların oluşmasında önemli rol oynar. Taşkınların felaketlerle sonuçlanması ve beklenmedik olması ani taşkınlar olarak adlandırılmalarına yol açmıştır [5]. Değişen iklim koşullarına ve yağış tipine bağlı sel ve taşkınlarda da artış olması beklenmektedir. Ani taşkınlardaki artışlar, iklim değişikliğine bağlı şiddetli sağanak yağışlı gün sayısının artmasından kaynaklanmaktadır [7]. Karst kelimesi, Adriyatik kıyısı boyunca uzanan eriyebilir kireçtaşlarıyla kaplı verimsiz ve kıraç platolar bölgesine verilen Carso adından gelmektedir [8]. Yağmur sularıyla gelen ya da hidrotermal kökenli karbondioksidin oluşturduğu zayıf asit olan karbonik asitin etkisiyle eriyebilir kayaçların aşınması olayına karstlaşma, bu eriyip aşınma sonucu oluşan yüzey ve yeraltı yapılarına (Düden, dolin, uvala, polye, mağara, yeraltı drenajı) ise karstik yapılar adı verilir [8]. Bu yapılarından dolayı suyu hızla depolayıp iletibilme özelliğine sahip bu kayaçlarda karstik akiferler olarak adlandırılır.

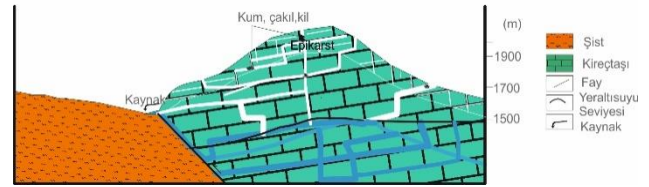
Karst, şiddetli yağış olaylarından kaynaklanan ani taşkınlarda önemli bir rol oynamaktadır. Karstik akiferlerin beslenmesi; yaygın (alansal) olarak taneler arası boşluklardan, kırık çatlaklardan süzülerek ve mağaralar, dolin, düden gibi karstik yapılardan büyük miktarlarda noktasal olarak süzülerek yeraltı suyu rezervini oluşturmak için derinlere boşalan su olarak tariflenmektedir. Beslenme işlemlerinde önemli faktörlerden olan yağış miktarı ve şiddetidir. Ani kuvvetli yağmurların değerleri oldukça değişkendir. Büyük miktardaki yağışın süresi çok kısa olur. Yağmur süresi şiddeti ile ters orantılıdır. Yavaş ve uzun süreli yağışlar yaygın beslenimde etkili olurken kısa süreli şiddetli yağışlar noktasal beslenimde etkilidir. Beslenimi etkileyen diğer faktörler morfoloji, litoloji, hızlı buharlaşma ve terlemedir. Karstik arazilerde ani

şiddetli yağışlarla noktasal boşluklardan yeraltı suyu beslenimi, buharlaşmanın çok düşük olması nedeniyle artmaktadır. Yağışlardan yeraltı suyu beslenimi %10 civarında olurken dünyanın değişik bölgelerindeki karstik akiferlerde yüksek süzülme oranları hesaplanmıştır. Milanoviç [9], Yugoslavya'da karstik kaynak boşalmılarından faydalanılarak yağışın %70-90 oranında buharlaşmadan yeraltına hızla süzüldüğünü, Suudi Arabistan'da ortalama yağışın %50 civarında karstik yapılar boyunca dolin ve mağaraların kesiştiği alanlarda yok olduğu belirtilmiştir. Sıcak ve kurak iklim koşullarına sahip Portekiz'de dolomit ve marnlı bölgelerde ortalama yağışın süzülme oranının %30-55 arasında değiştiği tespit edilmiştir [10]. Issar ve Passchier [11], İsrail'de Akdeniz iklim bölgesinde yer alan eriyebilir kayaç akiferlerinde benzer değerler belirlemiştir. Hırvatistan'daki Gradole havzasının sızma katsayıları 0.356-0.763 arasında verilmiştir [12]. İsviçre'deki dağlık karst bölgeleri için, toplam yağış miktarının %60-90'ı arasında sızma oranı verilmiştir [13]. Orta-güney İtalya'daki Majella akiferinin net beslenimi 900 mm ile 1450 mm/yl olan yağışın %62'sidir [14].

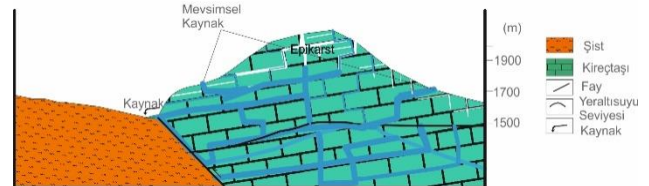
Türkiye'de ise Sivas-Ulaş bölgesinde yer alan Tecer kireçtaşlarında yağışın %55 oranında yeraltına süzüldüğü belirlenmiştir [15]. Karstik kireçtaşlarında süzülme oranı yağışların %80'ine varmaktadır. Bununla birlikte, düşük depolama kapasitesi türbülanslı akış koşulları ile birleştiğinde, beslenme karst sistemi tarafından depolanmayıp hızla (kaynaklar, nehirler, göller, deniz) dışarı akacağı anlamına gelmektedir.

Karstik akiferlerde akış oldukça anizotrop ve heterojendir. Su akışı boru benzeri iletim kanalları olarak adlandırılan akış kanallarının çapına göre laminer veya türbülanslı olur ve hidrolik özellikleri yüzey sularına benzerdir. Aynı zamanda taneli, çatlaklı akifer özelliklerini de kapsayan üçlü akış sistemi içerir [16]. Karst akiferlerinin en önemli özellikleri, yeraltı suyu akışı için düşük dirençli yollar sağlayan iletim kanallarıdır. Düşey gelişmiş iletim kanalları yağmur ve kar sularının buharlaşmadan yüzeyden yeraltı akarsu sistemine toplanmasını ve hızla taşınmasını sağlar. Türbülanslı akışın varolabileceği karst kanallarının minimum çapı

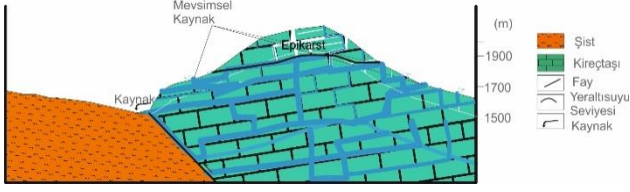
5- 15 mm'den daha büyük olmalıdır [5]. White [17], çapı 1 cm'den büyük olan iletim kanallarıyla gerçekleşen yeraltı suyu dolaşımının hidrolik eğimin yüksek olduğu koşullarda türbülanslı akımı karakterize ettiğini ve kanal akışının genellikle yüzey suları ile yeraltı suyundan daha fazla örtüştüğünü ifade etmiştir. Karst hidrolojisi, yüzey suyu ile yeraltı suyu hidrolojisinin bir karışımını gerektirir. Yeraltı suları ile yüzey suyu arasındaki etkileşimi anlamak karst ani taşkınlarının analizinde özel önem taşımaktadır. Geçirgenliği ve hidrolik iletkenliği yüksek, yatay ve düşey karstik iletim kanalları gelişmiş kireçtaşlarının bulunduğu bölgelerde yeraltı suyunun noktasal besleniminin fazla olması, yüzeysel akışın azalması anlamına gelir. Buna bağlı olarak sel şiddetinin ve riskinin de azalması beklenir ancak beslenme boşalım dinamiklerine bağlı olarak aksine ani taşkınlar sebep olmaktadır (Şekil 1-3). Aralık 2004'te, Marina Körfezi'nde, Hırvatistan'ın Adriyatik Denizi kıyılarında çıplak arazilerde yüzeyleyen ve derin yayılımı olan Dinarik karstının etkili olduğu karst ani taşkınında yeraltı suyu seviyesi yükselimi saatte 30 m'ye ulaşmıştır [18] [19].



Şekil 1. Ani taşkın öncesi ve uzun süren kurak dönemden sonra karst akiferinin şematik gösterimi Bonacci vd., 2006'dan değiştirilmiştir [5].



Şekil 2. Yeraltı suyu seviyesinin düşük olduğu ani taşkın anında iletim kanallarının şematik gösterimi.



Şekil 3. Yeraltısuyu seviyesinin yüksek olduğu ani taşkın anında iletim kanallarının şematik gösterimi.

Karst ani taşkını gelişiminin üç aşamasının şematik olarak gösterimi verilmiştir. Şekil 1, uzun bir kurak dönemden sonra yoğun yağmurun başlamasından kısa bir süre önceki karst sisteminin durumunu göstermektedir. Yeraltı suyu seviyesi düşüktür, su tablası topografyayı kesemeyecek kadar düşüktür. Karstik kanallarının bir kısmı kil veya taşlarla tıkanmıştır. Şekil 2, şiddetli yağış sonrası durumu göstermektedir. Yeraltı suyu seviyesi halen aynı konumdadır, ancak mevcut karst kanalları su ile dolmuştur ve akış basınç altındadır. Yeraltı suyu basıncı nedeniyle, borulardaki tıkanıklıklar açılmış ve kaynak boşalımları başlamıştır. Basınç altındaki akış sadece karst kanallarındadır, matris ve taneler arası geçirgenliği oluşturan küçük kırık ve fissürler henüz yeraltısuları ile doldurulmamıştır. Şekil 3, yeraltı suyu seviyesinin yükseldiği durumu göstermektedir. Küçük kırık ve çatlaklar yavaş laminer veya türbülanslı akış rejimi ile dolmaya başlamıştır. Epikarst bölgesi su ile dolmuştur. Örneğin, Dinarik karstının etkili olduğu karst ani taşkınında yeraltı suyu seviyesi 120 m yükselmiştir [5] [18].

Karst ani taşkınlarının temel nedenleri 1) Yüksek sızma oranı, 2) Nadir ya da olmayan yüzeysel akış varlığı, 3) Yüzey ve yeraltı suyunun güçlü etkileşimi, 4) Karst akiferin düşük depolama kapasitesi, 5) Hidrolik eğimin yüksek olması ve karstik kanallar sayesinde hızlı yeraltı suyu akışı, 6) Bilinmeyen karstik yapıların varlığı, düdenler, kanallar, mağaralar, 7) Ani yükselen yeraltı suyu seviyesi ile havzalararası etkileşimlerin değişmesi, 8) Ani yükselen yeraltı suyu seviyesi

nedeniyle ani kaynak boşalımları olarak özetlenebilir [5] [12].

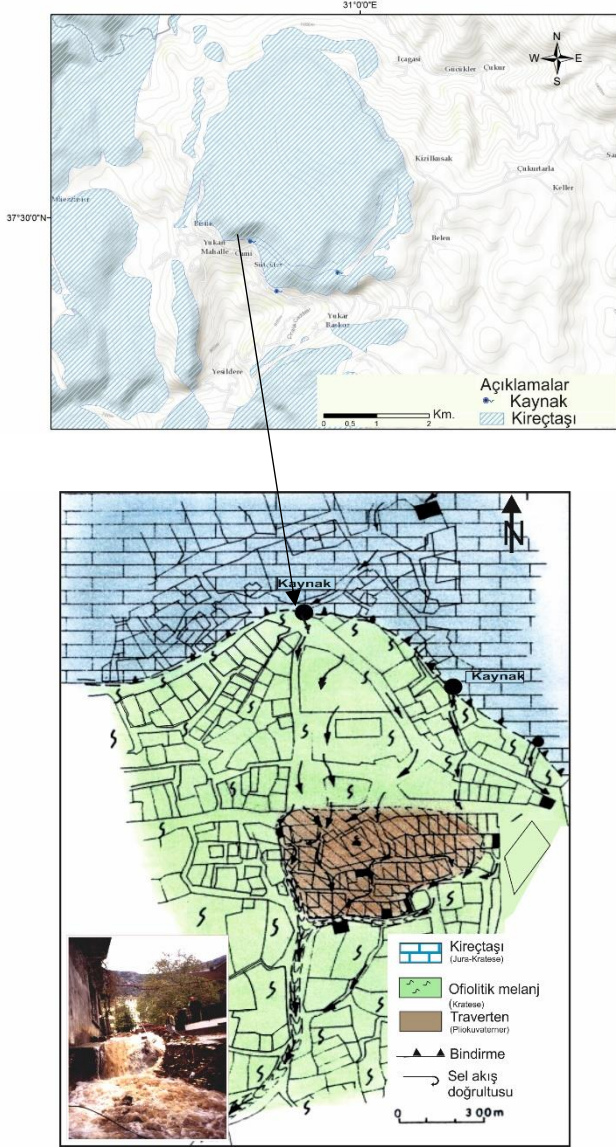
Isparta-Sütçüler Ani Taşkını

1995 yılında Isparta-Sütçüler ilçe merkezinde yaşanan sel felaketi sonucu 6 kişi ölmüş, 23 ev yıkılmış, 76 ev hasar görmüş, 4370 m kanalizasyon, 3700 m su şebekesi tamamen tahrip olmuştur (Şekil 4).

Isparta ili ve ilçelerinde genel olarak karasal iklim özellikleri gözlenirken bölgenin güneyinde yer alan Sütçülerde Akdeniz iklim özellikleri gözlenir. Devlet Meteoroloji İstasyonları uzun yıllar (1975-2009) verilerine göre ortalama sıcaklık 12°C, yıllık ortalama yağış 518-670 mm civarında iken Sütçülerde (2007-2010) ortalama sıcaklık 14 °C, yıllık ortalama yağış 900 mm civarındadır.

Sütçüler ilçe merkezinin kuzeyinde Erenler dağı tabanda bazik, ultrabazik ve çökel kayaların tektonizma etkisiyle karışmasından oluşan Isparta ofiyolit karmaşıkla tektonik dokanıklı kırıklı, çatlaklı, erime boşluklu, dolin ve düdenlere sahip kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4). Sütçüler ilçe merkezi Erenler dağı güneyinde yerleşmiştir. Şehir merkezi ağırlıklı olarak ofiyolitik karmaşık ve pliyokuvaterner yaşlı travertenler üzerine kurulmuştur.

Tabanda yer alan bazik, ultrabazik ve çökel kayalardan oluşan Isparta ofiyolit karmaşığı üzerine gelişmiş karstik yapılara sahip taşınmış (allakton) kireçtaşları uyumsuz olarak gelmiştir. Sütçülerin güney kesiminde ise bölgesel tektoniğe uyumlu olarak Miyosen denizel çökellerine ait kayalar ve Pliyokuvaterner yaşlı travertenler yüzeylenmektedir. Temel kayalar üzerinde kireçtaşı ve ofiyolitik karmaşık kökenli kum, çakıl, blok boyutunda yamaç molozları yer almaktadır.



Şekil 4. Sütçüler dolayının jeoloji ve sel akış yolu haritası [20].

Bölgede akan sürekli yüzey suyu bulunmamaktadır. Kireçtaşı ofiyolitik dokanağında kaynak boşalımları olmaktadır. Düşük debili bu kaynaklara ait düzenli ölçümler bulunmamaktadır. Ancak yerleşim yerindeki travertenlerin sözkonusu kaynaklarla ilişkili olarak çökeldiği göz önüne alınarak geçmişte büyük debili boşalımlardan bahsedilmektedir [20]. Bölge, karst ani taşkın özelliklerinin tümünü barındırmaktadır.

Hidrolik iletkenliği yüksek, depolama kapasitesi düşük karstik sistemlerin hızla suyu kaynaklara ve derelere taşıma yeteneğinin hızla akışa geçen şiddetli yağışlar ile birleşmesi Sütçüler

örneğinde olduğu gibi sel felaketlerinin boyutunu artırmaktadır.

Karagüzel ve Akıncı [20], tarafından karstik kaynakların Sütçüler sel felaketinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Ancak Sel Önleme ve Erozyon Kontrolü Projesinde karstik sistem ve yeraltı suyu etkisi gözardı edilmiştir. Dünya Bankası tarafından finanse edilen ve Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından yürütülen Senirkent ve Sütçüler Sel Önleme ve Erozyon Kontrolü Projesi kapsamında 2602 ha alanda erozyon kontrolü, 490 ha alanda da mera iyileştirme çalışmaları 1999 yılında tamamlanmıştır. Nitekim 2011 yılında bölgede sel felaketi tekrar yaşanmıştır (<https://www.youtube.com/watch?v=EsnuuTJ-g64>.)

Genel olarak, sağanak yağış olaylarının sıklığı ya da şiddeti, Kuzey Yarıküre'nin orta-enlem kara bölgelerine kıyasla, 1901'den bu yana artmıştır (1951'den sonra yüksek güvenilirlik). Türkiye ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından hazırlanan rapora göre, yağışlar Karadeniz bölgesinde artarken, Akdeniz ve Ege bölgelerinde azalmaktadır [21].

İç Anadolu'da yağış azalma ya da değişmeme eğilimindedir. İklim değişikliği verilerinin en belirgin sonucu, kuvvetli yağışlı gün sayısının Türkiye'de arttığına ve bu durumun sel felaketlerinde artışa neden olduğudur. Toplam yıllık yağış miktarının azaldığı bölgelerde bile, kuvvetli sağanak yağışlarda bugüne kadar ölçülmemiş yüksek yağış eğilimi vardır [22] [23]. Toplamda yağışların arttığı bir yıl olmasına rağmen, yaygın beslenimin hakim olduğu akiferlerde yeraltı suyu beslenimi azalmaktadır [24]. Fiorillo vd [14], akiferlerin besleniminin yeni yağış tipine bağlı olarak azaldığını göstermiştir. Başka bir deyişle, aynı miktarda yağış, geçmişte olduğu gibi akiferleri aynı miktarda beslememektedir. Karstik taşkınlar, iletim kanalları ile kontrol edilen akiferlerde, yaygın beslenimin egemen olduğu akiferlerden farklı olarak, daha yüksek beslenim olacağı hipotezini desteklemektedir. Pratik olarak yüzeye düşen şiddetli yağışlar çok yüksek iletkenliği ve noktasal beslenimi olan alanlarda doğrudan süzülürken diğerlerinde yüzeysel akışa

geçmektedir. Farklı boyutlardaki karstik boşlukları dolduran su ve aynı zamanda yer çekiminin etkisi altında, aktığı karst yeraltı sistemine çabucak nüfuz eder [5].

Tartışma

Kireçtaşlarında yüksek beslenme, iyi gelişmiş karstik yapılardan gelen noktasal süzölmeye bağlıdır. Bununla birlikte, karst akiferlerine beslenimin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi, heterojen yapılarından dolayı çok zordur [12] [14] [25]. Yaygın beslenme ve laminer akışla kontrol edilen diğer karst akiferler, vadoz zonunda fosil ve aktif olmayan karstik yapılar bulundurmaktadır ve vadoz zonun aktivasyonu nedeniyle, yeraltı su seviyesinde ani değişimler, havza taşmaları ve komşu havzaları etkilemelerine neden olabilir [5]. Bu nedenle karst arazilerinde akiferlerin yapısına ve hidrolik özelliklerine doğrudan bağlı ani taşkınlar başlıca tehlikelerden biri olarak tespit edilmiştir [5]. Komşu havzalardan gelen hesaplanmamış suların kaçınılması için havzanın hidrolojik bütçesinin bir bileşeni olarak dikkate alınmalıdır [26]. Eris ve Wittenberg [27], komşu karstik havzalar arasındaki su transferinin büyüklüğünü göstermiştir. Çoğunlukla yüksek topoğrafyada yer alan taşınmış, derin yayılımı olan, şiddetli yağışlarda hızlı beslenme sağlayan karstik yapıları gelişmiş ve geçirimsiz kayaçlarla sınırlanmış akiferler, önemli miktarlardaki suyu hidrolojik drenaj havzalarına ya da komşu havzalara aktarabilirler. Göller bölgesinde yer alan tarihi bir kaynağın yer aldığı Sagalassos antik kenti, iletim kanalları yani kırık çatlak sistemi gelişmiş Kretase yaşlı allokon kireçtaşları önünde kurulmuştur. Bu, akifer yüksek taşkın kapasiteli akiferlere iyi bir örnektir. Şaşırtıcı bir şekilde, Sagalassos antik kentinde drenaj sistemi doğal taşkın riskleri göz önüne alınarak inşa edilmiştir. Kazılar, binalar zarar görmeden taşkınları toplamak ve tahliye etmek için drenaj kanallarının geniş açık alanların ve kentsel dokunun içine dikkatle yerleştirildiğini göstermektedir [28]. Kentsel drenaj sistemleri, antik çağda Sagalassos kentine benzer şekilde şiddetli yağışlarda faaliyete geçecek çok sayıda kaynak debisini de hesaba katarak tasarlanmalıdır.

İklim değişikliğine bağlı yağış tipinin değişmesi sonucu sel felaketlerinde artış devam etmektedir. Buna bağlı sel kontrolü çalışmalarına duyulan ihtiyacın artması üzerine Orman ve Su İşleri Bakanlığı (yeni adıyla Tarım ve Orman Bakanlığı) tarafından yukarı havza sel kontrol eylem planı hazırlanmıştır. Yukarı havza sel kontrol eylem planında jeoloji başlığı altında yalnızca “Geçirgenliği ve gözenekleri yüksek olan kayaçların bulunduğu yerlerde sızma oranının fazla olması, yüzeysel akışın azalmasına ve buna bağlı olarak sel ve taşkın olaylarının şiddetinin ve riskinin de azalmasına sebep olur. Geçirgenliği ve gözenekleri çok düşük ya da geçirimsiz kayaçların olduğu alanlarda ise, yağışların ve eriyen kar sularının büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçeceği için sel vakası daha sık ve şiddetli görülür” açıklaması yer almıştır. Sel ve taşkın olaylarına ilave yeraltı suyu katkısı dolayısıyla hidrojeolojinin önemine bu eylem planında değinilmemiştir. Ani ve şiddetli yağışlarla hızla beslenime bağlı seviye yükselimi olan düşük depolamalı karst akiferlerinin ani taşkın olaylarına büyük etkisi ülkemizde henüz yeterince bilinmemektedir.

Sonuçlar

Ani taşkın örnekleri (Dinaric, Sütçüler) iklim değişikliğiyle artış gösteren kısa süreli sağanak yağışların, vadoz zonda gelişmiş iletim kanallarına sahip karstik akiferlerde diğer akiferlerin aksine hızlı beslenime sebep olduğunu göstermiştir.

Çoğunlukla yüksek topoğrafyada yer alan taşınmış, derin yayılımı olan, şiddetli yağışlarda hızlı beslenme sağlayan karstik yapıları gelişmiş ve geçirimsiz kayaçlarla sınırlanmış akiferler, önemli miktardaki suyu hidrolojik havzalarına ya da komşu havzalara aktarabilirler.

Büyük miktarlarda buharlaşmadan alıkonarak yeraltına süzölen suyun gelişmiş iletim kanallarıyla hızla yüzey sularına ilave su taşınması ani taşkınların önemli nedenlerindedir.

Ani ve şiddetli yağışlarla hızla beslenimi olan karstik sistemden gelebilecek su miktarı hidrolojik bütçelerde yerini almalı, drenaj sistemleri yeraltı suyu ilaveleri hesaplanarak tasarlanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] SYGM, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2017). Taşkın Yönetimi www.taskinyonetimi.ormansu.gov.tr _engine > file > Taskın_Yonetimi (Son erişim 4/12/2019)
- [2] Kömüşçü, A.Ü., Çelik, S., Ceylan, A. (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi, Coğrafi Bilimler Dergisi, CBD 9(2), 209-220.
- [3] Kirmencioğlu, B. (2015). Türkiye'de dere yataklarına müdahalelerin taşkınlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, 146 s.
- [4] Bacanlı H., Çelik S., Görgeç H., Deniz A. (2011). Meteorological analysis of the flood disaster that occurred in the western Marmara region at 7 - 9 September 2009. 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings, İstanbul, p.451-460
- [5] Bonacci, O., Ljubenkovic, I., Roje-Bonacci, T. (2006). Karst flash floods: an example from Dinaric karst (Croatia). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 195–203
- [6] Fleury, P., Maréchal, J.C., Ladouche, B. (2013). Karst flash-flood forecasting in the city of Nîmes (southern France), Engineering Geology, 164, 26-35.
- [7] Hüyüktepe, P.B. (2015). Taşkın riski ön değerlendirilmesinde yerbilimsel veri/bilgilerin kullanımı, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 118 s.
- [8] MTA, Kars ve Mağara araştırmaları (Son erişim 3/12/2019). <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/karst-magara-nedir>
- [9] Milanović, P.T. (1981). Karst Hydrogeology, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA, 434 p.
- [10] De Vries, J.J. ve Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges, Hydrogeology Journal, Vol. 10, p. 5-17
- [11] Issar, A. S. ve Passhler, (1990) R.: Regional hydrogeological concepts, in: Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge, IAH Int. Contrib. Hydrogeol. 8, edited by: Lerner, D. N., Issar, A. S., and Simmers, I., Heinz Heise, Hannover, 21–98.
- [12] Bonacci, O. (2001). Analyses of the maximum discharge of karst springs, Hydrogeol. J., 9, 4, 328–338.
- [13] Malard, A., Sinreich, M., Jeannin, P.Y. (2016). A novel approach for estimating karst groundwater recharge in mountainous regions and its application in Switzerland, Hydrol. Process, 30(13):2153–2166
- [14] Fiorillo, F., Petitta, M., Preziosi, E., Rusi, S., Esposito, L., Tallin, M. (2015b). Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy), Environ Earth Sci., 74:153-172.
- [15] Ekemen, T., Kaçaroglu, F. (2001). Tacer Dağı (Sivas-Ulaş) kaynaklarının hidrojeolojisi, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A, .2, p. 87-102.
- [16] Lambrakis, N., Katsanou, Tayfur, G., Baba, A., 2015 Describing the karst evolution by the exploitation of hydrologic time-series data, Water Resources Management, July 2015, Volume 29; 9, pp 3131-3147
- [17] White, W. B., 2002, Karst hydrology: recent developments and open questions, Eng. Geol., 65, 85–105, doi:10.1016/S0013-7952(01)00116-8.
- [18] Bonacci, O. (1987). Karst hydrology with special reference to Dinaric karst, Springer Verlag, Berlin.
- [19] Bonacci, O. (1995). Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia), J. Hydrol., 165, 113–134.
- [20] Karagüzel, R., ve Akıncı, Ö.T. (1998). Influence between geological environment and the settlement area; Isparta case,

- Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, p. 61-75, 19-20 November, Istanbul
- [21] SPM, Summary for Policymakers (2013). <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5SPMFINAL.pdf>,
- [22] CCSP (2008). The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Backlund, P., A. Janetos, D. Schimel, J. Hatfield, K. Boote, P. Fay, L. Hahn, C. Izaurralde, B.A. Kimball, T. Mader, J. Morgan, D. Ort, W. Polley, A. Thomson, D. Wolfe, M. Ryan, S. Archer, R. Birdsey, C. Dahm, L. Heath, J. Hicke, D. Hollinger, T. Huxman, G. Okin, R. Oren, J. Randerson, W. Schlesinger, D. Lettenmaier, D. Major, L. Poff, S. Running, L. Hansen, D. Inouye, B.P. Kelly, L. Meyerson, B. Peterson, and R. Shaw. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- [23] USGCRP (2009) Global Climate Change Impacts in the United States . Karl, T.R. J.M. Melillo, and T.C. Peterson (eds.). United States Global Change Research Program. Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- [24] Williams, N.H. ve Lee, M. (2007). Ireland at risk – Possible implications for groundwater resources of climate change, Groundwater Section, Geological Survey of Ireland <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.583.61&rep=rep1&type=pdf> (Son erişim 4/12/2019)
- [25] Bakalowicz, M. (2015). Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean, Environ Earth Sci., 74:5-14.
- [26] Aksoy H. (2016). Interactive comment on “Classification of Karst Springs for Flash Flood-Prone Areas in Western Turkey” by M. Demiroglu, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., doi:10.5194/nhess-2016-6-SC1, 2016
- [27] Eris, E., Wittenberg, H. (2015). Estimation of baseflow and water transfer in karst catchments in Mediterranean Turkey by nonlinear recession analysis, Journal of Hydrology, 530, 500-507.
- [28] UNESCO (2009). Climate change impacts on water systems in Turkey, www.oecd.org/env/resources/waterandclimatechange.htm.

Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği

The Use of Waste Materials in the Construction of Dams: The Case of Kadıköy Pond

Mehmet Hayrullah AKYILDIZ^{1*}, Hüseyin EFE², Fevzi ÖNEN³

^{1*3} Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır e-posta: hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr

² DSİ Aydın 21. Bölge Müdürlüğü, Aydın

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 17 Ocak 2020
Düzeltilme: 10 Şubat 2020
Kabul: 11 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

Sürdürülebilir çevre, atık malzeme, kaya dolgu baraj, Kadıköy Göleti

ÖZET

Çevre; tüm canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları doğal ortam olarak tanımlanmaktadır. Artan nüfus ve tüketim alışkanlıklarımız neticesinde doğal kaynaklarımız hızla azalmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma olgusu; doğal kaynakların etkin ve verimli kullanımlarını da kapsayan sürdürülebilir çevre politikasıyla sağlanabilir. Bu doğrultuda ortaya çıkan atık yönetimi, sürdürülebilir çevre politikasının ilk adımını oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak da ortaya çıkan atık malzemelerin geri dönüştürülmesi suretiyle yapı malzemesi olarak kullanılması için yeni tasarım modelleri ve teknolojiler geliştirilmiştir. İnşaat sektöründe en büyük maliyet kalemi olarak görülen yapı malzeme bedeli böylelikle hem düşürülmüş hem de kaynakların etkin ve verimli kullanılmasıyla daha sürdürülebilir bir inşaat sektörüne geçiş sağlanabilecektir.

Ülkemizde hidrolik yapılar perspektifiyle (baraj, gölet, sulama tesisleri...) bakıldığında, özellikle miktar olarak fazla kullanılan dolgu malzemelerinde atık/artık malzemelerin kullanılmasını sağlayabilecek altyapı mevcuttur. Bu çalışmada, Muğla İlinin Yatağan İlesinde yapımı devam eden Kadıköy Gölet'inde dolgu malzemesi olarak kullanılacak kaya ve kaya ufağı için bölgede yoğun olarak bulunan mermer ocaklarının pasa sahalarının kullanılabilirliği kalite kontrol kriterleri de esas alınarak irdelenecektir.

Doi: 10.24012/dumf.676017

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 January 2020
Revised: 10 February 2020
Accepted: 11 February 2020

Keywords:

Sustainable environment, waste material, rockfill dam, Kadıköy Dam

ABSTRACT

Environment; it is defined as the natural environment in which human beings and other creatures maintain their relationships throughout their lives and interact with each other. As a result of increasing population and consumption habits, our natural resources are rapidly decreasing. The concept of sustainable development; sustainable environmental policy including the efficient and efficient use of natural resources. The resulting waste management is the first step in sustainable environmental policy. As a result of this, new design models and technologies have been developed to be used as building materials by recycling the resulting waste materials. The cost of building materials, which is considered as the biggest cost item in the construction sector, can be reduced and the transition to a more sustainable construction sector can be achieved by using the resources effectively and efficiently.

In terms of hydraulic structures in our country (dams, ponds, irrigation facilities...), especially in the amount of waste materials used in excess of waste / waste materials can be used to provide infrastructure. In this study, the availability of the quarry areas of the marble quarries which are densely located in the region for the rock and rock horizon to be used as filling material in the Kadıköy Lake which is being constructed in Yatagan District of Muğla Province will be examined on the basis of quality control criteria.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Mehmet Hayrullah AKYILDIZ
✉ hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr

Giriş

İnsan, varoluşundan itibaren yaşamını sürdürebilmek adına beslenme, ısınma, barınma gibi ihtiyaçlarını doğrudan içinde bulunduğu çevreden karşılamıştır. Bu etkileşim sonucu hem doğal kaynaklar artan nüfusla beraber hızla azalmış hem de atık malzemeler sonucu çevre kirliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle 18. yüzyılın ikinci yarısıyla başlayan Sanayi Devrimi, ekolojik dengenin bozulmasında önemli bir kırılma noktası olmuştur.

1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunun hazırladığı Brundtland Raporu'nda "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanan sürdürülebilir kalkınma, özellikle çevre esaslı bir mekanizma olup mevcut doğal kaynakların yarının ihtiyaçlarını da karşılaması gerektiğini vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma; doğal kaynakların etkin ve verimli kullanımlarını da kapsayan sürdürülebilir çevre politikasıyla sağlanabilir. Bu doğrultuda ortaya çıkan atık yönetimi, sürdürülebilir çevre politikasının ilk adımını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; inşaat sektörünün alt kollarından biri olarak görülen madencilikte (mermer) atık/artık malzemelerin geri dönüştürülmesi süreci irdelenerek Muğla İli Yatağan İlçesinde yapımı devam eden Kadıköy Gölet'i özelinde hem atık yönetimi hem de kullanılacak atık malzemenin kalite kontrol kriterlerinin yeterliliği açısından deneysel bazlı incelemesi yapılmıştır.

İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi Çalışmaları

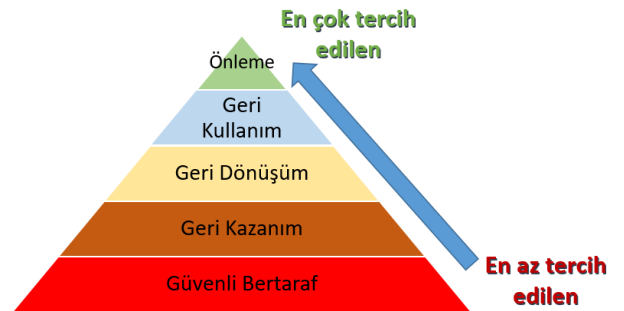
Ekonomik kalkınma ve sürdürülebilir iş gücünün karşılanmasında inşaat sektörü çok ciddi bir konumda bulunup, bir ülkenin ekonomisinde gelişmenin hız treni özelliğinde bir sektördür. Bundan dolayı bir ülkedeki inşaat sektörünün büyümesi ekonomik gelişmeye etkisi o oranda fazla olacaktır. Özellikle belirtmek gerekir ki büyümekte olan bir ülkedeki ekonomideki iniş çıkışlar ilk olarak inşaat malzemesi piyasası olmak üzere tüm inşaat

sektörünü büyük ölçüde etkileyecektir (Pamuk, 2018).

İnşaat, çok büyük miktarlarda malzemenin kullanıldığı önemli sektörlerden birisidir. Bunun sonucu olarak da arz yetersizliği oluşturmayan miktardaki hammaddenin yakın olması ve asgari seviyede işlem görmesi, maliyetlerin düşürülmesi açısından son derece önemlidir. Atıksız bir dünya düşünülemez ve azalan doğal kaynaklar göz önüne alındığında, atık malzemelerin dönüştürülmesi suretiyle tekrar kullanılması tasarım ve yapı teknolojisinde öncelikli hedefler arasında yer almaktadır.

20.yüzyılın bina mirası, büyük oranlarda inşaat ve yıkımlarla ortaya çıkan atıklardır. Gelişmiş ülkelerde 1970'lerden bu yana çevre yasaları doğrultusunda atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi için önlemler alınmaya başlanmış ve atık yönetim politikaları geliştirilmiştir. Atıkların geri kazanımı ile ilgili çalışmalar ise ancak 1990'lardan sonra ivme kazanmıştır (İpekçi ve ark. 2015).

AB Atık Çerçeve Direktifi kapsamında yer alan atık yönetim gereklilikleri; atık önleme girişimleri, kaynakların daha iyi kullanılması ve sürdürülebilir bir tüketim alışkanlığının teşvik edilmesi sonucu ortaya çıkan atığı önemli ölçüde azaltarak bu atığın geri dönüşümünü amaçlamaktadır. Atık Yönetimi hiyerarşisi beş adımı temel almaktadır. Bunlar; önleme, geri kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve güvenli bertaraf aşamalarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Atık Yönetim Hiyerarşi Adımları

Ülkemizde atık yönetimi için esas alınan mevzuat, 2872 sayılı Çevre Kanunu ile AB Atık Çerçeve Direktifine uyum kapsamında 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliği'dir. Bu yönetmelikle;

- Atıkların oluşumundan, uzaklaşmasına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanmasını,
- Atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanmasını,
- Çevre ve insan sağlığı açısından belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip, bu Yönetmeliğin kapsamındaki ürünlerin üretimi ile piyasa gözetimi ve denetiminin sağlanması amaçlanmaktadır.

Türkiye'nin Mermer Potansiyeli

Madenler, insanlık tarihi boyunca yaşam biçimini şekillendirmiştir. Aynı zamanda, geçmişten günümüze kadar, dünya çapında ekonomik gelişimin belirleyicisi olmuştur. Madenlerin kullanıldığı sektörler farklılık göstermektedir, bu nedenle madenlere sahip olan ve ihtiyaç duyan ülkeler yüzyıllar boyu çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bazı stratejik madenler yerelde değerlendirilmelerinin yanı sıra taşıdıkları özellikler sebebi ile farklı ülkeler için farklı ölçüde önem arz etmektedir. Bu anlamda dünya rezervlerinin ne kadarına sahip olunduğu ve alternatif kaynağının olup olmadığı gibi konular insanların yaşam tarzını direk olarak etkilemektedir (Demirel, 2016).

Türkiye'nin yer aldığı coğrafya, dünya üzerinde jeolojisi en karmaşık olan bölgelerdendir. Yer küre olduğundan bu yana yaşadığı tektonik süreçler, üzerinde yaşadığımız bölgeyi jeolojik anlamda oldukça karmaşık bir hale sokmuştur. Bunun sonucu olarak da küçük parçalar halinde ülkenin tamamına yayılmış çok çeşitli maden rezervleri ortaya çıkmıştır. Bunların başında bor tuzları, barit, feldspat, bentonit, perlit ve mermer gelmektedir.

Tablo 1. Yıllara Göre Mermer Üretim Miktarları(http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx)

Yıllar	Üretim Miktarı (m ³)
2011	4.086.222
2012	4.488.947
2013	4.255.545
2014	4.220.564
2015	5.613.435
2016	5.287.780
2017	5.290.947

Tablo 1.'de 2011 – 2017 yılları arasında ülkemizde üretimi yapılan mermer miktarları verilmiştir.

Ülkemizde mermer yatakları genellikle Paleozoik yaşlı masiflerin bulunduğu alanlarda yer alır. Bu alanlar genellikle ülkenin batı yarısında yer almakla birlikte doğuda da bazı yerlerde bulunmaktadır. Menderes masifi, İstiranca masifi, Menteşe masifi, Kazdağ masifi, Kırşehir masifi, Ilgaz kristalin masifi ve Bitlis masifi bu alanlardan en belirgin olanlarıdır (Ketin, 1984).

Ülkemiz mermer potansiyelinin yaklaşık 5.161.000.000m³(http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx) olduğu göz önüne alınarak, illere göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Mermer Ocaklarının İllere Göre Dağılımı (Çetin, 2003)

İller	Mermer Ocakları Oranı (%)
Balıkesir	27,00
Afyon	23,60
Bilecik	11,14
Denizli	7,58
Bursa	6,92
Muğla	6,40
Eskişehir	4,03
Uşak	2,37
Kırklareli	1,90
Kırşehir	1,18

Türkiye'de Madencilikte Atık Yönetimi ve Mevzuatı

Son yıllarda küreselleşmenin etkisiyle sanayideki gelişmeler maden kaynaklarıyla ilgili yeni durumları gündeme getirmiştir. Önceki yıllarda kaynaklar rahatlıkla ve yeterli şekilde temin edilebilirken sonraki dönemlerde durum kötüye doğru gitmiştir. Kaynaklar, millileştirme ve değişen pazar politikaları, rekabet, artan talep vs. sebeplerle yetersizleşmeye başlamıştır (Tunçel, 2011). Bunun sonucu olarak da mermer sahalarından çıkan atık/artık malzemeler geri dönüşüme tabi tutularak hem doğal kaynak sıkıntısının belli bir oranda azaltılması hem de atıl durumda çevreye zarar verecek malzemenin yeniden kullanılmasıyla ekonomik fayda sağlamaya başlanmıştır.

Atıklar toz ve parça atıklar olmak üzere ikiye ayrılmakta ve bunlar çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Bu atıklardan inşaat sektöründeki değişik alanlarda yararlanma yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmakta, sanayideki bazı uygulamaları günlük hayata yansımaktadır (Akbulut ve Gürer, 2003). Dünyada ve ülkemizde daha çok toz veya agrega boyutunda kullanım alanı edinmiş olan mermer atıkları; asfalt ve çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra kireç üretiminde ve lokal zemin iyileştirmelerinde kullanılmaktadır. Ancak hacimsel bazda incelendiğinde atık malzemelerin büyük oranda parça atıklardan oluştuğu ve küçük parçalar haline getirmenin geri dönüşüm maliyetini de arttırdığı unutulmamalıdır. Dolayısıyla geri dönüşümde kullanılacak malzemelerin asgari düzeyde işlem gören parça atıklar olması, maliyeti düşürmenin yanı sıra süreci de oldukça kısaltan bir etki gösterir.

Pasa; cevherleşme ihtiva etmeyen veya mevcut ekonomik ve teknik şartlara göre zenginleştirilmesi mümkün olmayan, ancak işletme gereği üretilmesi zorunlu olan ve kazı işlemi dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış madde veya malzeme olarak tanımlanmaktadır. Mermer ocakları işletmeleri, pasa malzemenin oldukça fazla çıktığı maden kollarının başında gelmektedir. Bu büyüklükte malzemenin depolanması için oldukça büyük alanlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu sahaların ilgili mevzuat hükümleri doğrultusunda analiz ve faaliyet raporlarıyla birlikte düzenli olarak takibi yapılmakta ve işletme ruhsatının sona ermesi durumunda ise pasa malzemelerinin nakliyesinin en geç altı içinde nakledilmesi ilgili mevzuat gereği şart koşulmaktadır.

Çevrenin korunması ve pasa sahasının muhafazası için gereken mali kaynaklar göz önüne alındığında atık/artık malzemenin geri dönüştürülme süreci sürdürülebilir kalkınma açısından hayati önem taşımaktadır. Bu duruma yönelik olarak 21.09.2017 tarih ve 30187 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Yönetmeliğinde belirtilen hususlar dahilinde, pasa malzemesinin işletme sahibi ve/veya kamu kurum ve kuruluşlarınca kullanılmasının önü açılmıştır. Ayrıca 14.02.2019 tarihinde Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle, yeni talep edilecek hammadde üretim izinleri için talep edilen alanın 20 km

yakınında pasa, artık ve atık sahasının varlığı MAPEG tarafından irdelenerek (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü) bu malzemelerin kullanılmaması durumunda yeni ruhsat izninin verileceği hüküm altına alınmıştır. Böylelikle hammadde sıkıntısının yaşandığı yatırımlar için alternatif kaynakların yaratılmasının yanı sıra sürdürülebilir kalkınma – sürdürülebilir çevre olgusuna pratik çözümlerle de ulaşılabileceği kanıtlanmıştır. Bu eylem planına altyapı sağlaması adına MAPEG tarafından, doğaltaş-mermer işletme ruhsat sahalarında üretim faaliyetleri sırasında meydana gelen pasa ve bakiye yığınlarının değerlendirilmesi, bunlardan kaynaklı sorunların çözümü, çevreye duyarlı madencilik faaliyetlerinde bulunulmasına yönelik olarak “Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi Projesi” başlatılmıştır.

Atık Malzemelerden Baraj Yapılması: Kadıköy Göleti

Baraj (Gölet); sulama, içme suyu, enerji üretimi, taşkın koruma gibi amaçlarla suyun depolanmasını sağlayan su yapıları olarak tanımlanmaktadır.

Baraj ve gölet tanımları dönem dönem değişebilmekle beraber; gövde yüksekliği 15 m'den yüksek, gövde hacmi 500.000 m³'ten büyük ve depolama hacmi 5.000.000 m³'ten büyük biriktirme yapıları baraj, bu üç kriterden herhangi birinden küçük değerlere sahip su yapıları ise gölet olarak tanımlanmaktadır. Barajlar/Göletler gibi büyük miktarlarda malzemelerin kullanıldığı yapılarda rantabilitenin sağlanması adına en önemli kriter hammaddeye yakınlıktır. Dolgu barajlar/göletler göz önüne alındığında, gelişen teknolojiyle beraber geçirimsizliğin sağlanması için farklı alternatif çözümler ortaya atılmış olup (geomembran, asfalt çekirdek...) son derece başarılı sonuçlar da elde edilmiştir. Ancak yine de hacimsel açıdan gövdenin büyük kısmını oluşturan dolgu malzemesi için çalışma sahasına en yakın malzemenin kullanılması ekonomiklik açısından zorunluluk arz etmektedir.

maksimum 90 cm, en büyük tane hacmi 0.750 m³ olmalıdır.

- Kaya malzeme dolguda yapılan dökme-serme sıkıştırma işlemleri esnasında hiçbir şekilde ezilmeyecek ve ayrıışmayacak nitelikte olmalıdır.

Kadıköy Gölet’inde kullanılacak kaya malzemesi için; gölet özellikleri, bölgedeki genel kaya birimleri ve teknik şartnameler doğrultusunda yaptığımız deneyler şunlardır:

- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini (TS EN 1936)
- Atmosfer basıncında su emme deneyi (TS EN 13755)
- Aşınmaya Dayanıklılık –Los Angeles Tayini (ASTM C131)
- Beton agregalarında dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini (ASTM C88)
- Kayaçlarda tek eksenli basınç dayanımı tayini (TS EN 1926)

Kadıköy Gölet’inde kullanılacak kaya malzemesi için çalışma sahasına 5,7 km uzaklıktaki mermer pasa sahası belirlenmiştir.

Tablo 4. Numunelerin Laboratuvar Sonuçları

Deney Adı	Numuneler	
	1	2
G.Yoğunluk (g/cm ³)	2.75	2.75
Los Angeles Aşındırma Direnci (%) 500 Devir	8.84	8.3
Los Angeles Aşındırma Direnci (%) 100 Devir	3.22	3.5
Na ₂ SO ₄ Don kaybı	2.82	2.1
Su Emme (%)	0.06	0.08
Porozite	0.08	0.01
Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²)	914.21	937.13
Don sonu basınç dayanımı (kg/cm ²)	860.74	873.47

İşletmeden, pasa malzemesinin bedelsiz olarak alınabileceği yönünde gerekli muvaffakatname alındıktan sonra sahadan 2 adet numune alınarak akredite olmuş özel bir laboratuvarında gerekli deneyler yapılmış olup sonuçlar Tablo 4.’te verilmiştir.

Tartışma-Sonuç

Baraj/gölet gibi büyük miktarda malzemenin kullanıldığı yapılarda atık malzemelerin yeniden kullanımı, baraj yapımında en önemli etken olan hammaddeye yakınlık açısından büyük bir avantaj sağlayabilmektedir. Özellikle atık malzemenin çok fazla ortaya çıktığı mermer sektörü, inşaat malzemelerinin geri dönüşümünün sağlanabileceği başlıca alanlardan biridir. Son yıllarda yapılan mevzuat değişiklikleriyle atık/artık malzemelerin tekrar kullanılması öncelikli hedef haline getirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Muğla ili Yatağan İlçesinde yapılacak Kadıköy Gölet’inde gövde dolgusu olarak kullanılacak kaya malzemesinin uygunluğu için çeşitli deneyler yapılmıştır. Numuneler, 0.063 mm elekten geçecek şekilde tamamıyla öğütülüp sabit kütleye kadar kurutularak 10 gr numune tartılarak alınmıştır. Piknometre yarısına kadar de-iyonize su ile doldurulup hazırlanan numune eklenecek suya karışması için çalkalandı. Hava kabarcıklarının çıkışı tamamlanuncaya kadar piknometreye vakum uygulandı. Sonra piknometre ağzına yakın bir seviyeye kadar de-iyonize su ile doldurulup asılı haldeki malzemenin dibe çökmesi, suyun berraklaşması beklendi. Daha sonra piknometre tamamen deiyonize su ile doldurularak kapağı kapatılıp taşan su temizlendi. En sonunda piknometre $\pm 0,01$ g doğrulukla tartılarak gerçek yoğunluk bulunmuştur.

Don Kaybı deneyi için ASTM C88 doğrultusunda hazırlanan ince ve iri agrega numunesi, 21°C’deki sodyum sülfat çözeltisi içinde 16-18 saat boyunca bekletildi. Daldırma işlemi sonunda, agrega numuneleri çözeltiden alınarak etüv içinde kurutuldu. Etüv içerisinde mümkün olan en fazla numune yükü var iken numunelerdeki kütle kayıpları numuneler etüvden alınarak ve soğutmaksızın 2 ile 4 saatlik aralıklarla tartılarak kontrol edildi. 4 saatlik kurutma işlemi sonunda kütle kaybının %0,1’den daha az olması durumunda sabit kütleye ulaşıldığı kabul edilerek numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulup bu döngü 5 kez tekrarlandı. İnce agregada kütle kaybını belirlemek için her bir tane sınıfı daha önce deney numunesi hazırlanırken kullanılan tane sınıfına ait alt

elekten, iri agrega ise her bir tane sınıfı için standartta verilen elekten elenerek tartıldı.

TS EN 13755 standardına uygun olarak 50 mm boyutlarında silindir şeklinde kesilen numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutuldu. 1 saat aralıklarla su kabı içinde yer alan numuneye, yüksekliğinin yarısında başlanarak su eklendi. Önce 48 saate kadar tamamen su içinde bekletilen numune tartıldıktan sonra 24 saatlik periyotlarla numune sabit kütleye ulaşincaya kadar su içinde bekletme ve tartım işlemi devam ettirilir. Numunenin doygun haldeki kütlesi ölçülerek kuru kütlesine göre değişim oranı bulundu.

Aşınma etkilerine karşı dayanımın tespit belirlendiği Los Angeles deneyinde; uygun dane çapına getirilen numuneler 711 mm çapındaki tambura koyulmadan önce sabit kütleye gelinceye kadar etüvde kurutuldu. 100 ve 500 devirlere kadar döndürülecek tamburda, dane çapına göre eklenmiş bilyelerle 30 devir/dakika dönme hızıyla döndürüldü. 100 devire ulaşıldığında numune elekten geçirilerek tartımı yapıldı. Aynı işlem, 500 devire gelindiğinde de tekrarlanarak toplam aşınma kaybı değerleri elde edildi.

Tek eksenli basınç dayanım değerinin tespiti için 50 mm boyutlarında silindir numune, sabit kütleye gelinceye kadar kurutuldu. Prese yerleştirilen numuneye, kırılıncaya kadar 1MPa/s'lik sabit gerilme hızıyla artan bir basınç uygulandı. Azami kırılma değeri kaydedilerek numune boyutları da göz önüne alınarak MPa cinsinden ortalama dayanım değerleri bulundu. Don sonu basınç dayanım değerleri için ise don dayanıklılık deneyi uygulanan numuneler, tek eksenli basınç deneyine de tabi tutularak dayanım değerleri bulundu.

DSİ eliyle yapımı devam eden Kadıköy Gölet'inde, mermer ocaklarının pasa sahasındaki kaya parçalarının dolgu malzemesi olarak kullanılması planlanmaktadır. Böylelikle toplamda 110.500 m³'lük malzeme ihtiyacının çalışma alanına yakın bir yerden bedelsiz olarak karşılanmasının yanı sıra atıl durumdaki malzemenin kullanılmasıyla ekonomik ve çevresel bazda fayda sağlanacağı aşıkardır. Alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler göz

önüne alındığında pasa malzemesinin, gölette kullanılacak kaya dolgu için yeterli dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Bahse konu çalışmada elde edilecek sonuçların başarılı olması, ülkemizde yoğun olarak devam eden baraj ve göletlerin inşaat maliyetlerinin düşürülmesi ve atık malzemelerin çevreye olan zararlarının azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmalara emsal teşkil etmesinin yanı sıra basit çözümlerle sürdürülebilir kalkınma-sürdürülebilir çevre olgusuna ulaşılabileceğini kanıtlayacaktır.

Kaynaklar

- Akbulut, H., Güner, C., “Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım İmkanları”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19, 2003
- Aydın İpekçi, C., Coşgun, N., Esin, T. “İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi” 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 2015
- Bilgi, V., “Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelen. Kriterleri”, DSİ Gen Müd, Ankara, 1990
- Çetin, T., “Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı”, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3, 2003
- Demirel, C., “Jeofizik, İnsan ve Maden” Jeofizik Bülteni, Sayı: 76-77, 2016
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, “Doğal Yapı Malzemeleri Etüd Şartnamesi”, 2017
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, “Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi”, 2014
- Devlet Su İşleri Aydın 21. Bölge Müdürlüğü “Muğla Yatağan Kadıköy Göleti ve Sulaması Planlama Raporu”, 2017
- Erkek, C., Ağralıoğlu N., “Su Kaynakları Mühendisliği”, 1993
- Fırat, F. K., Akbaş, F., “İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Çalışmalarının Geliştirilmesi ve Ekonomi Üzerine Etkileri” International Conference On Eurasian Economies, 2015
- Guide Jr. V.D.R. Jayaraman, V., Srivastava, R., “The Effect Of Lead Time Variation On The Performance Of Dsasembly Release Mechanisms”, Computers & Industrial Engineering, 1999
- Ketin, İ., “Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış”, İTÜ Vakfı Yay. No:32, 1984
- Tıraş, H. H., “Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre: Teorik Bir İnceleme”, KSÜ İİBF Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, 2012
- Tunçel, N., “Türkiye'de Madencilğe Genel Bir Bakış”, [http://www.madenis.org.tr/yazarlar/yazi/turkiye-de-madencilige-genel-bir-bakis-16.html], 2011

Traverten Atıklarının Çimentolu Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımında Renk ve Parlaklık Değerlerinin Araştırılması

Investigation of Color and Brightness of Travertine Wastes Using Cementitious Filling Material

Ali Sarıışık^{1*}, Songül Can², Keziban Ürün³

¹ Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, sariisikali@gmail.com

² Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, songul_537@hotmail.com

³ Afyon Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, keziban.urun@gmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 29 Ocak 2020

Düzeltilme: 13 Şubat 2020

Kabul: 13 Şubat 2020

Anahtar kelimeler:

Çimento dolgu, Traverten atığı,
Renk, Parlaklık, Dolgu reçetesi

ÖZET

Doğal yapı malzemeleri, dünya çapında önemli bir potansiyele sahiptir. Gözenekli yapısı ile istenmeyen travertenlerin dolgu işlemi ile ekonomiye kazandırılması ülkemiz açısından bir kazançtır. Dolgu işleminden sonra plak yüzeylerde; dolgu yapılmış yüzey ile travertenin kendi yüzeyi arasında parlaklık ve renk farklılıkları olabilmektedir. Ülke ve dünya pazarı açısından, bu farklılıklar en doğru yöntemle giderilerek, minimum seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel fabrikadan alınan 4 farklı reçete ile laboratuvar çalışmaları sonucunda oluşturulan reçeteler renk ve parlaklık açısından karşılaştırılmıştır. Yeni reçetelerde renk ve parlaklık açısından daha uyumlu ve daha ekonomik olduğu için traverten atıkları kullanılmıştır. Sonuç olarak renk ve parlaklık açısından orijinal plaka yüzeylerine yakın yeni yüzeyler elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.681606

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 29 March 2020

Revised: 13 February 2020

Accepted: 13 February 2020

Keywords:

Travertine, Cement Filling,
Brightness, Color, Roughness

ABSTRACT

Natural building materials have significant potential worldwide. It is a gain for our country that the travertine with its porous structure is added to the economy filling process. After filling the plate surfaces; There may be differences in brightness and color between the filled surface and the surface of the travertine itself. In terms of the country and the world market, these differences must be eliminated with the most correct method and brought to a minimum level. In this study, 4 different recipes obtained from the industrial factory and the recipes produced as a result of laboratory studies were compared in terms of color and brightness. Travertine wastes are used in new recipes because they are more compatible and more economical in terms of color and brightness. As a result, new surfaces were obtained close to the original plate surfaces in terms of color and brightness.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Ali Sarıışık

✉ sariisikali@gmail.com

Giriş

İnşaat sektöründe traverten yapı malzemeleri isteğe bağlı olarak gözenekli doğal haliyle veya dolgulu tercih edilir. Endüstriyel uygulamalarda traverten dolgu, çimentolu ve epoksili dolgu olarak üretimi yapılmaktadır. Traverten yapı malzemelerinin homojen bir görüntü verebilmesi için kullanılan dolguların, travertenin kendi atıklarından yapılmış olması, renk uyumunu daha kolay sağlar. Bu nedenden dolayı travertenlerin doldurulmasında traverten atıklarının kullanılmasının daha uyumlu renk vermesine ve çevreye zarar verici atıklarında, endüstride yeniden kullanılmasından dolayı ekonomik bir işletmecilik örneği oluşturmaktadır.

Travertenin, yapı malzemesi olarak kullanılması aşamasında yapısındaki boşluklar estetik olarak kusur sayılabileceği gibi bu gözeneklerin doldurulması için genelde tercihen çimento dolgu kullanılır (Şentürk ve Sarısık, 2003).

Çimentolu dolguların dayanımında su içeriği belirleyici bir faktördür. Su içeriğinin azalması macun dolgunun dayanımını artırmaktadır. Çimento miktarı arttıkça çimento dolgunun dayanımı da artmaktadır (Yılmaz ve diğ. 2004).

Çimentolar çok değişik türde üretilmekle birlikte bazı özel çimentolar farklı endüstriyel çalışmalar için kullanılmaktadır. Kalsiyum alümina (CA) çimentosu da bu çeşitlerden biridir. Bu çimento üretilirken kullanılan yöntemler gelenekseldir. Üretilmesi esnasında kireç hammaddesi yerine ikame olarak mermer atıkları kullanılır. Alüminyum kaynağı olarak boksit cevher yerine alüminyum hidroksit ikame edilerek farklı bir üretim yöntemi kullanılmaktadır. Geliştirilen üretim sayesinde ocaktan alınan ham maddenin üretimi, nakliyesi, boyut küçültmek için eleme ve sınıflandırma süreçleri kullanılarak hammaddelerin önceki yapılan çalışmalar dikkate alınarak doğrudan CA çimentosu üretimine başlanabilmektedir. Özellikle, endüstriyel atıkların üretimi esnasında boyut küçültülmesinin doğrudan olması ve istenilen boyutlara kadar hazır hale gelmesi büyük oranda enerji tasarrufu sağlar (Kavas, 2003).

Çimento dolgu karışımlarında, cila kalitesini azaltmak, ufalanmayı azaltmak, iklim koşullarına uygun olabilmesi için belirli oranlarda kalsit, kaolen, çimento ve ayrıca uygun miktarlarda oksit boyalar kullanılır. Çimento dolguda kullanılan travertenin atığının parlatılabilmesi için (2-7 gün) hava koşullarına ve karışım özelliklerine göre 1 hafta kadar kür süresi önerilmektedir. Kür ortamlarının doğru iklimlendirilmesi ve bazı beton kimyasalları kullanılarak bu süre kısaltılmaya çalışılmaktadır (Cevheroğlu, 2005).

Doğal taşların yapılarında bulunan çatlaklar, gözenekler ve mikro gözenekler, üretimleri esnasında ve sonrasında ortaya çıkan problemler dolgu uygulamasını gerektiren nedenler arasında gelmektedir (Emanuel, 2003).

Günümüzde endüstriyel uygulamalarda doğal taş plakalarını sağlamlaştırmak için epoksi reçineler kullanılmaktadır (Kotasek, 2004).

Epoksi reçineler, birbirleri ile etkileşerek olağanüstü dayanıklı, kimyasal dirençli ve yapıştırma kuvveti yüksek çapraz bağlı ürünler meydana getiren polimer oluşturucu sistemlerdir (Selwitz, 1992).

Bu çalışmada, farklı traverten atıkları kullanılarak, 4 adet endüstriyel ve laboratuvar çalışmaları sonucunda reçeteler oluşturulmuştur. Yeni reçeteler ile elde edilen traverten plakaları renk ve parlaklık açısından karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan travertenler

Araştırmada kullanılan yapı malzemeleri (Travertenler) için isimlendirmeler yapılmıştır. Fantastik Silver Traverten reçetesi için "F" ismi, Klasik Silver Traverten reçetesi için "C" ismi, Seabed Traverten reçetesi için "S" ismi ve Noche Traverten reçetesi için ise "N" ismi kısaltmaları kullanılmıştır. Çizelge 1'de yapı malzemeleri için dolgu karışımında kullanılacak malzemenin tane boyutları verilmiştir.

Çizelge 1. Travertenlerin Dolgu Reçetesi Tane Boyutları

Tane Boyutu (μm)x10 ²	Tane boyut Kodu	Traverten karışımlarının isimlendirilmesi
-10+8,5	P	FP, SP, NP
-8,5+5	T	FT, ST, NT
-5+3	Z	FZ, SZ, NZ
-3+1,5	Y	FY, SY, NY
-1,5+1,06	X	FX, SX, NX

Dolguda Kullanılan Malzemeler

Beyaz çimentonun temel özellikleri arasında yüzey düzgünlüğü, görünüş güzelliği, dekoratif ve estetik özelliklere sahip olması, yüksek dayanım kazandırması, çok daha küçük boyutlarla üretilmesi, üretim teknolojisinin yüksek olması, üretimde kullanılan malzemelerin çok saf olması gibi özellikler sıralanabilir. Traverten dolgunun ana maddesi olarak çimentolar kullanılacak olup, çalışmada kullanılması planlanan beyaz çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Karışımlarda kullanılan çimentonun özellikleri. (Beyaz çimento standart limitleri (EN197-1))

Çimentodaki elementler	Çimsa değerleri	Min.	Maks.
SiO ₂ (%)	21,6	...	
Al ₂ O ₃ (%)	4,05	...	
CaO (%)	65,7	...	
SO ₃ (%)	3,30		4,0
MgO (%)	1,30	...	
Fe ₂ O ₃ (%)	0,26	...	
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,18		5,0

Kalsit kullanılarak üretilen dolguda, beyaz çimento miktarının azalması maliyetin düşmesine olanak sağlamaktadır. Açık renkli kalsitler traverten dolguların üretilmesinde tercih edilmektedir. Dolgu karışımında kullanılan kalsitin özelliklerine Çizelge 3’de yer verilmiştir.

Çizelge 3. Karışımlarda kullanılan kalsitin kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	0,28
Al ₂ O ₃ (%)	0,11
Fe ₂ O ₃ (%)	0,009
CaO(%)	54,9
MgO(%)	1,1
P ₂ O ₅ (%)	0,01
K ₂ O(%)	0,01
SO ₃ (%)	0,02
KK(%)	42,5
CaCO ₃ (%)	97,45

Pigmentler çimento dolgu üretiminde renk verici olarak kullanılmaktadır. Pigment boyalar yüksek oranda oksit içerirken demir oksit yüzdesi en yüksek orandadır. Oksitlerin siyah, sarı, kırmızı ve kahve gibi renkleri mevcuttur. Oksitler pigment boyalarda kullanıldığında çok yüksek derecede renk uyumu sağlamakla birlikte ısıya dayanıklı oksitlerde mevcuttur. En yüksek ısıya dayanıklı (1000° C) oksit ise kırmızı demir oksittir.

Boyut Belirlenmesi

Reçetelerde kullanılan traverten atıklarının boyutları, silim abrasivlerinin temas ettiği yüzeyin parlaklık ve renk uyumunda iyileşmeye katkı sunacağı şekilde sınıflandırılmalıdır. Traverten dolgu işlemi yapılırken en önemli parametre, dolgu karışımlarında kullanılan kalsit (CaCO₃) yerine traverten atığının ikame edilmesi işlemi olmuştur. Çalışma kapsamında, mermer tesislerinde kullanılan karışımlarda çimentonun boyutu 200 μ ’a kadar çıkabilmektedir. Karışımlarda kullanılan travertenin boyutu ne kadar küçültülürse yüzey alanı artacağından dolayı parlaklık ve renk kalitesinde iyileşme olabileceği düşünülmüştür. Bu karışımlarda traverten atıklarının daha küçük boyutlarda kullanılması, doğru sınıflandırılmasına tabi tutulmasını zorunlu hale getirmiştir.

Reçetelerin Belirlenmesi

Bu çalışmada oluşturulan yeni karışımların isimlendirilmesinde X-Y-Z-T-P boyut isimleri olarak traverten atıkları sınıflandırılmıştır. Kullanılan atıkların oranları %70-%50-%30 oranlarında kullanılmış, oksit boya pigmentleri

ise çimento oranı sabitlenerek tesis karışımlarına uygulanmaya çalışılmıştır.

Reçete Boyutları

Traverten atıklarının tane iriliği belirlenirken etkili parametrelerden bazıları; kullanılacak atıkların homojenliği, pürüzlüğü ve görünümü ile alakalı çalışmaları planlayacak şekilde yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılacak karışımlarda, ikame olarak traverten atığı kullanılırken birbirine yakın görülen karışımlarda renk, parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yapılarak karşılaştırılmalı olarak kıyaslanmıştır.

Noçe traverten reçetesi

Çalışmalarda kullanılan karışımlarda çimento oranı %30'dan başlayarak %50 ve %75'e kadar azaltılmıştır. Traverten plakaları, su ile kesildiği için, plakalar yeterince bünyesinde su tutmaktadırlar. Travertenin gözenekli yapısından dolayı, gözeneklere giren su, traverten plakanın nem miktarını artırır. Bu nedenle karışımda ekstra su ihtiyacını gerek yoktur. Reçeteler hazırlandıktan sonra, dolgu makinesinin malzeme haznesine kuru toz olarak dökülmektedir. Islak haldeki traverten plakada bu haznenin, altında kalacak şekilde yerleştirilmiş olduğu için, haznedeki toz haldeki dolgu malzemesi, su ve nem ile buluştuğunda, çimentolu dolgu macunu haline gelmektedir. Dolgu macunu haline gelen karışım reçetesi, makine yardımı ile traverten plaka yüzeyine sürülerek gözenekler doldurulur. Bu işlemden sonra traverten plaka en az 1 gün veya iklim koşullarına göre 2 güne yakın süre zarfında doğal ortamda küremeye bırakılır. Küremesi tamamlanan traverten plaka yüzeyleri silinmesi ve parlatılması için yüzey işleme makinelerin olduğu üretim bandına yerleştirilerek, yüzey parlatma ve cilalama işlemleri başlatılmıştır. Sarı, açık kahve ve oksitli siyah renkler kullanılırken, travertenlere renk açısından daha uyumlu olan tercih edilmiş ve karışımlarda kaolen ile birlikte kullanılmıştır. Bu karışımlarla oluşturulmuş tesis reçetelerinden Noçe traverten tesis reçetesi karışımları Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Tesiste Kullanılan Noçe Traverten Reçetesi

Reçeteler	Numune	Miktar (gr)
Örnek işletme Reçetesi	Gri çimento	20.000,00
	Beyaz çimento	50.000,00
	Kaolen	1.500,00
	Oksit sarısı	1.500,00
	Oksit siyah	100,00
	Açık kahve	1.300,00

Tesis reçetesi baz alınarak geliştirilen yeni reçeteler Çizelge 5'de verilmiştir. Travertenler önce kırma, eleme ve öğütme işlemlerinden geçirildikten sonra hazırlanan karışımlara çimento yerine %30, %50 ve %75 oranlarında ikame edilmiştir. 4 farklı reçetede farklı boyutlar (X-Y-Z-T-P) baz alınmış ve her boyut için travertenler %30, %50 ve %70 oranlarında çimento yerine ikame edilerek her bir traverten reçetesi için 15 seri karışım hazırlanmıştır. Bu çalışmada en yaygın kullanılan Noçe Traverten reçetesi ile ilgili analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 5. Tesiste Geliştirilen Noçe Traverten Reçetesi Karışım Miktarları

Malzemeler	Traverten atık oranları		
	%30	%50	%75
Gri çimento	190,47	190,47	190,47
Beyaz çimento	476,18	476,18	476,18
Kaolen	14,28	14,28	14,28
Oksit sarısı	14,28	14,28	14,28
Oksit siyahı	0,95	0,95	0,95
Açık kahve	12,38	12,38	12,38
Boyutlu traverten	333,35	333,35	333,35

Renk ve Parlaklık Ölçümü

1936 yılından itibaren parlaklık ölçümü üzerine çalışmalar yapılmaktadır (ASTM D 523-94). Metal, kağıt, boya kaplamalı malzemeler üzerine değişik metotlar kullanılarak bir çok parlaklık ölçümleri yapılmıştır (Hunter, 1975; Budde, 1980). Yapılan çalışmada üretilen plakaların yüzeylerinde yapılacak renk ve parlaklık ölçümleri yapılırken 20°, 60° ve 85°'lik projelendirme açıları ile gelen yansıma dikkate alınarak kullanılan ölçüm aracı ile

analizler gerçekleştirilmiştir. Üretilen karışımların uygulandığı fayanslarda 60x30 cm ebatları dikkate alınarak bu boyutlardaki plakalarda, cetvel ile ölçüm yapılarak karelere (10x10 cm) ayrılıp ayrılan kareler içinde her biri üzerinde 5 adet okuma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen veriler ile plakaların parlaklık ve renk ölçümleri yapılarak her ölçüm öncesi makinanın kalibresi yenilenmiştir.

Sonuçlar ve Tartışmalar

XRF analizi

Kimyasal analizler TÜRKAK tarafından akredite olan doğal taş analiz laboratuvarında (Afyon) X-Işını Flüoresans (XRF) yöntemi ile yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6'de verilmiştir.

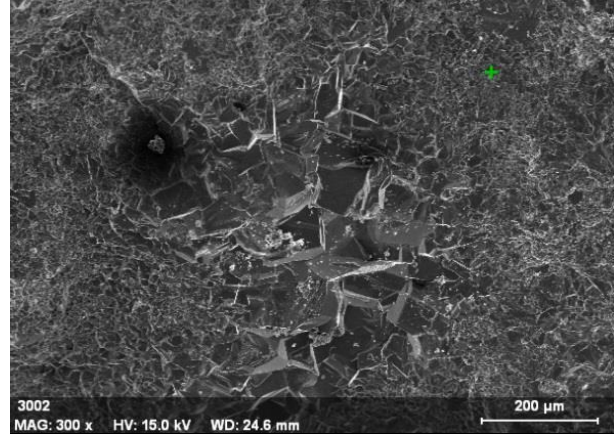
Çizelge 6. Kullanılan Karışım Reçetelerinin (XRF) Analiz Sonuçları

Kod(%)	N(%)	S(%)	C(%)	F(%)
SiO ₂	0,25	0,50	0,05	0,06
Al ₂ O ₃	0,09	0,21	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	0,03	0,31	0,01	0,01
CaO	55,28	54,9	56,13	56,32
MgO	0,23	0,20	0,06	0,04

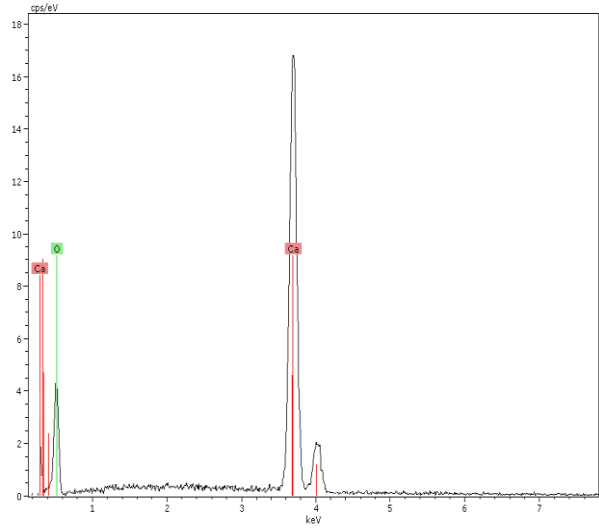
SEM ve EDX analizleri

Çalışmada kullanılan numunelerin kırık yüzey büyüklüğü 10mm çapında numuneler üzerinde, malzemenin yapısı ve malzemenin karakterizasyonunu gösterecek şekilde yüzeyler tespit edilmiştir. AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde traverten örnekler 250°C -300°C'de ince karbon filmle kaplanarak SEM analizleri görüntülenmiştir. Malzemelerin kırık yüzeylerine EDX (enerji dağılımlı spektrometre) ve SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizleri yapılmıştır. Yapı malzemesi olan, Noçe Traverten'in iç yapısını göstermek için çekilen Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı Şekil 1-2'de gösterilmektedir. Şekil üzerinde görülen iç yapının daha iyi analiz edilebilmesi için işaretin olduğu noktada kimyasal elementleri bulmak üzere (EDX) analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de belirlenen noktada yapılan analiz sonucu iki temel elementin varlığı dikkat çekmektedir.

İşaretli noktada yapılan analizde, Ca(kalsiyum) ve O(oksijen) elementinin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu analiz incelendiğinde; en büyük pikin kalsiyumda, ondan sonraki ikinci pikin ise oksijen elementinde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan görüntü üzerindeki analizlerde işaretli noktalarda daha çok kalsit minarelleri bulunmuştur. Şekil 2'de EDX analiz sonucu gösterilmektedir.



Şekil 1. Traverten SEM görüntüsü (N 300x görünümü)



Şekil 2. EDX nokta görüntü analiz sonucu (N 300x görüntüsünde işaretli nokta)

Noçe traverten reçetelerin karşılaştırılması

Tesiste kullanılan reçete ile laboratuvarında geliştirilen reçeteler renk ve parlaklık açısından karşılaştırılmıştır. Şekil 3'de Noçe traverten için gözenek yapısı, Şekil 4'de ise kür aşamasındaki gözenek görüntüsü gösterilmektedir. İnşaat sektöründe en yaygın kullanılan Noçe traverten

olduğu için Noçe travertenle ilgili analiz sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 3. Noçe traverten gözenek yapısı

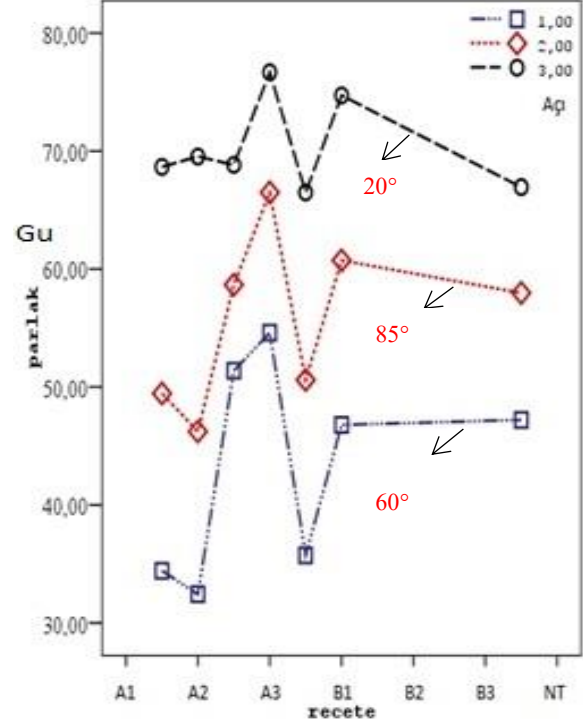


Şekil 4. Noçe traverten kür aşamasındaki gözenek görüntüsü

Hazırlanan 4 farklı reçete için renk ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 7’de reçetelerin parlaklık değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Hazırlanan 4 farklı reçetede farklı açılar oluşturularak parlaklık sonuçları bulunmuştur. Şekil 5’de malzemenin (N) parlaklık değerlerinin ölçüm sonuçları verilmiştir.

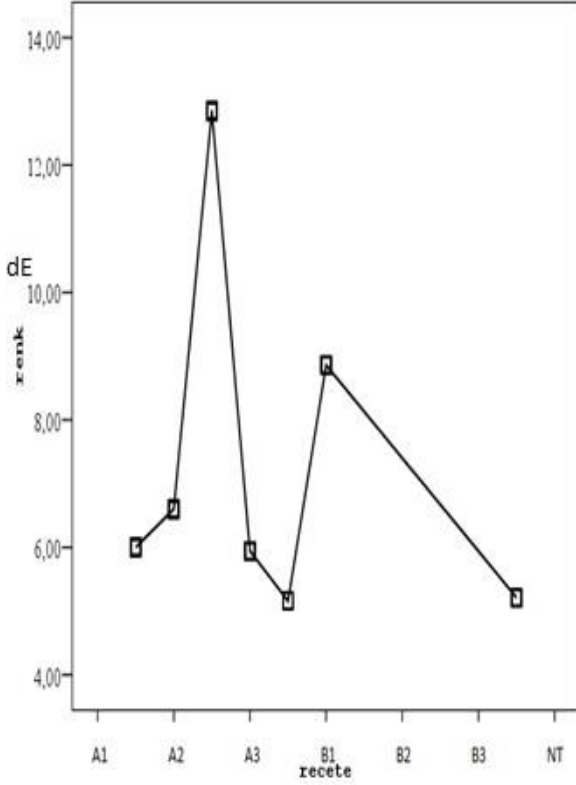
Parlaklık analizinde kullanılan $1.5+1.06 \times 10^2$ μm boyutlu %30 traverten atığı ikamesi (A1), $-1.5+1.06 \times 10^2$ μm boyutlu %50 traverten atığı ikame ikamesi (A2), $-1.5+1.06 \times 10^2$ μm boyutlu %30 traverten atığı ikamesi (A3), $3+1.5 \times 10^2 \mu\text{m}$ boyutlu %30 traverten atığı ikamesi (B1), $-3+1.5 \times 10^2 \mu\text{m}$ boyutlu %75 traverten atığı ikamesi (B2), $-3+1.5 \times 10^2 \mu\text{m}$ %75 boyutlu

traverten atığı ikamesi, $3+1.5 \times 10^2 \mu\text{m}$ boyutlu %75 traverten atığı ikamesi (B3) ve Noçe traverten (NT, atıksız) ölçüm sonuçları, Şekil 5’de ve Şekil 6’da verilmiştir. Bu sonuçlarda; en yüksek parlaklık değerleri 20° ’lik açıda oluşurken en düşük parlaklık değerlerinin 60° ’lik açılarda olduğu görülmüştür.

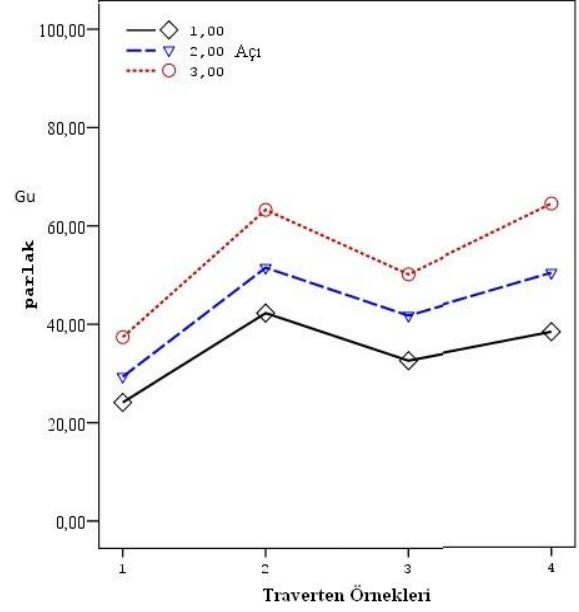


Şekil 5. Malzemenin parlaklık değerlerinin ölçüm verileri (N)

4 farklı reçete için farklı boyutlarda kullanılan traverten atığının Noçe traverten reçetesi için renk değerlerinin aritmetik ortalaması Çizelge 8’de gösterilmektedir.



Şekil 6. Parlaklık değerlerinin analizi (N)



Şekil 7. Malzemelerin parlaklık değerleri (T4, T3, T2, T1)

Traverten ölçümlerinde genel olarak parlaklık değerlerinin en yüksek olduğu nokta 85°'lik açıda oluşurken, 20°'lik açı ile yapılan okumalarda en düşük değere ve 60°'lik açı ile yapılan okumalarda ise orta değerlere ulaşılmıştır (Şekil.7).

Çizelge 7. Traverten 3: Hazırlanan karışımlar ile oluşturulmuş parlaklık sonuçları

Noçe(T)	%75	%50	%30	%75	%50	%30	%75	%50	%30	%75	%50	%30	TESİS
T(10 ⁻⁶ mm)	-150+106			-300+150			-500+300			-850+500			
Gu	NX3	NX2	NX1	NY3	NY2	NY1	NZ1	NZ2	NZ3	NT1	NT2	NT3	NT
20°	51.37	32.42	34.42	46.79	35.73	54.6	-	-	-	-	-	-	47.21
60°	58.67	46.22	49.45	60.73	50.6	66.49	-	-	-	-	-	-	57.97
85°	68.83	69.54	68.66	74.72	66.49	76.68	-	-	-	-	-	-	66.94

Çizelge 8. Traverten 3: Hazırlanan karışımlar ile oluşturulmuş renk değerlerinin sonuçları

Karışım reçeteleri	(%) trav.	Boyut (µm)	L	a	b	L	C	H°	dE	dL	da	db
NX1	30	-150+106	54.57	9.91	17.59	54.57	20.29	60.37	6	0.37	-0.29	-13.84
NX2	50	-150+106	56.71	10.23	16.97	56.71	19.95	58.33	6.6	1.79	-0.21	-7.7
NX3	75	-150+106	53.68	10.44	20.24	53.68	22.9	62.58	12.85	-12.2	0.29	24.25
NY1	30	-300+150	53.86	11.19	20.23	53.86	23.22	60.7	5.94	4.69	-1.83	-0.65
NY2	50	-300+150	54.82	10.83	19.86	54.82	22.7	61.29	5.16	1.26	0.22	-19.85
NY3	75	-300+	53.65	10.77	19.72	53.65	22.57	61.75	8.86	-6.38	2.65	-5.66

		150										
NT	-	-	55.28	10.95	18.76	55.28	21.81	59.37	5.21	-3.75	1.19	0.4

Traverten atıklarından elde edilen dolgu malzemesinin boyutları $-500+300 \times 10^{-6}$ mm ve $-850+500 \times 10^{-6}$ mm aralıklarında değişen numunelerin, boyutları iri olduğundan karışım elde edilerek, yapılan dolgularda, dökülmeler olmuş, bundan dolayı; reçetelerin parlaklık ve renk değerleri ölçülememiştir.

Sonuçlar

İnşaatlarda yapılan malzemelerde kullanılan travertenler, çimento dolgulu olarak istenildiği takdirde kullanılan renkler travertenin orijinal renginden koyu veya açık olabilmektedirler. Tesislerde yapılan reçetelerde; gözenekli travertenlere, çimentolu dolgular yapıldığında oluşturulan renk, travertenin orijinal rengi dışında mat bir görüntü verebilmektedir. Bu çalışma ile birlikte inşaat yapı malzemesi olarak kullanılan gözenekli travertenlerin, orijinal kendi atıkları ile doldurulan, çimentolu dolgu karışımları kullanılarak çok daha verimli sonuçlar elde edileceği kanısına varılmıştır.

Traverten atıkları kullanılarak üretilen dolgulu reçetelerde atıklar, çimento miktarının belirli yüzdeleri alınarak kullanılmış ve 4 tesis reçetelerine uygulanarak farklı reçeteler hazırlanmıştır. Dolgu yapılan traverten reçeteleri, tesiste kullanılan reçete ile kıyaslandığında parlaklık ve renk açısından iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılan karışımlar ile hazırlanan çimentolu dolguların kullanılması ile elde edilen numunelerin karakterizasyonunun incelenmesi sonucunda bulunan veriler kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen dolgulu reçetelerin karakterizasyon özellikleri incelendiğinde; Fantastik Silver karışımlarından elde edilen Traverten 1 örnekleri için en uygun reçete; parlaklık değerinin % 80' lere ulaştığı Y2 reçetesidir. Renk değerleri açısından kıyaslandığında ise bulunan reçete örnek işletme reçetesine göre parlaklık açısından %50 iyileşme sağlamıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar tesiste kullanılan reçetelere göre daha parlak traverten fayansları üretilmesine imkan sağlamıştır.

Sonuç olarak, Noçe Traverten için uygun olan Y2 reçetesi $-3+1.5 \times 10^2 \mu$ tane boyutuna sahip atık traverten tozları kullanılabilir. Bu çalışma ile üretilen reçeteler normal sanayideki tesiste kullanılan reçetelere göre %50 oranında daha az çimento kullanılmasını sağlamıştır. Klasik Silver için en uygun olan karışım %80'lere yakın parlaklık değeri veren Y2 reçetesidir. Uygulaması yapılan traverten plakalarında renk değerleri tesisteki karışım sonucu elde edilen renklere göre daha orijinale yakın doğal renkler ortaya çıkmasını sağlamış, parlaklık değerleri % 45'lere ulaşmıştır. Sonuç olarak Y2 reçetesinde $-3+1.5 \times 10^2 \mu$ tane boyutuna sahip malzemeler kullanılabilir.

Noçe için hazırlanan Traverten 3 örnek karışımlarında Y1 reçetesinde % 80'lere yakın daha parlak sonuçlar elde edilmiştir ve sanayide kullanılan reçeteye göre bu oran %30 daha parlak ürünler elde edilmesine imkan sağlamıştır. Sonuç olarak Noçe Traverten için $-300+150 \mu$ tane boyutuna sahip traverten atıkları kullanılması önerilmektedir. Bu karışımlar ile oluşturulmuş reçetelerde, çimento oranında %30 azalma sağlanmıştır.

Seabed için oluşturulan Traverten 4 karışımlarında Y3 reçetesinin parlaklık değerleri %80'lere çıkmıştır. Renk değerlerinde biraz sapma olmasına rağmen sonuç olarak, Y3 reçetesi olan $-300+150 \mu$ tane boyutuna sahip traverten atık malzemelerinin kullanılması önerilmektedir. Yapılan analizler sonucunda bu reçeteler sanayide üretilenlere göre çimentodan %75 oranında azalma sağlamıştır. Yapılan sanayi boyutlu ve laboratuvar boyutlu çalışma ile beraber traverten yapı malzemelerinin kalitesi artmış ve atık traverten boyutları küçültülerek elde edilen karışımlarda çimento oranı düşürülmüş, renk açısından doğal renge

daha yakın renkler üretilmiş ve ekonomiye ciddi katkılar sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] A.Şentürk, ve A. Sarıışık, ‘‘Doğal Taş Tamirinde Epoksi, Polyester, Mastik ve Çimento Dolguların Uygulanma Kriterleri’’, MERSEM 2003 Sempozyumu, 11-13 Eylül, 553-565, (2003).
- [2] E. Yılmaz, A. Kesimal, ve B. Erçıkı, ‘‘Malzeme Bileşiminin Çimentolu Macun Dolgu Dayanımı Üzerine Etkisi’’, Kayamek2004 7. Bölgesel kaya mekaniği sempozyumu, 21-22 Ekim, 1-5, Sivas, (2004).
- [3] Taner Kavas, ‘‘Atık mermer ve alüminyum hidroksit kullanarak refrakter çimento üretimi’’, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2003.
- [4] Sümeyra Cevheroğlu, ‘‘Diyarbakır Yöresindeki Bazı Mermer Türlerine Uygulanan Dolgu Yöntemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
- [5] H. Ceyla, S. Saraç, ve H.T. Özkahraman, ‘‘ Mermer Toz Atıklarının Derz Dolgu Malzemesi (Fuga) Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması’’, III. Mermer Sempozyumu, 3-5 Mayıs, Afyon, (2001).
- [6] A. Çiftlik, ‘‘Kaolen cevherinden metallerin liç yöntemi ile uzaklaştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2010.
- [7] S. Dönmez, ve Y.D. Sarı, ‘‘Sayısal Görüntü Analizi Tabanlı Bir yüzey Parlaklık Ölçüm Sistemi’’, Mühendislik Bilimler Dergisi 11(3) , 401- 405, 2004.
- [8] S. Kulaksız, S, ‘‘Doğaltaş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri’’, Ankara, 7-159, (2007).
- [9] A. Şentürk, A. Sarıışık, A, ‘‘Doğal Taş Tamirinde Epoksi, Polyester, Mastik ve Çimento Dolguların Uygulanma Kriterleri’’, MERSEM 2003 Sempozyumu, 11-13 Eylül, 553-565, (2003).
- [10] F. Emanuel., The Marble and Granit Resin Process: How and Why, 2003.
- [11] C. Selwitz, Epoxy Resins in Stone Conservation, 1992.
- [12] W. Budde, ‘‘Stability problems in gloss measurements’’, Journal of Coatings Technology, (52), 4-48, 1980.
- [13] ASTM D 523, Standard Test Method for Secular Gloss, 6.01, 32-36, (1994).
- [14] R.S.Hunter, The Measurement of Appearance, Wiley Interscience, New York, 1975.